Les splendeurs d'Arégonde, reine des Francs p.48



SCIENCES ET AVENIR

Sciencesetavenir.fr

CANCER
L'espoir d'un vaccin

p.74

L'ANTIMATIÈRE révèle les secrets de l'Univers

p.30

Expérience d'antigravité au Cern



OCTOBRE 2016 - N° 836 ALLEMAGNE 6.80 € / AUTRICHE 5.40 € / BELGIQUE 5.20 € / GRÈCE 5.20 € / CANADA-USA 7.50 $ / ESPAGNE : 5.20 € / ITALIE 5.20 € / LUXEMBOURG 5.20 € / MAROC 45.00 MAD / TOM 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF / PORTUGAL 5.20 € / SUISSE 7.70 CHF / TUNISIE 6.50 TND / DOM 5.20 €

ÉDITO



Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Fascinante antimatière

Il n'est pas difficile d'imaginer un crayon posé sur sa pointe et que l'on parvient (un peu miraculeusement, il est vrai) à faire tenir droit devant soi sur une table bien dégagée. Ce crayon vertical au-dessus de ce plan vide, c'est un modèle de symétrie. On peut le regarder ici ou là, en tournant tout autour, c'est du pareil au même. Mais qu'un courant d'air passe et voilà le crayon qui tombe. La symétrie est brisée. Apparaît dans l'espace une direction privilégiée, celle dans laquelle il gît désormais. Cette histoire de « brisure de symétrie », l'astrophysicien Marc Lachièze-Rey aime à la raconter (1). Car, *« de l'infiniment petit à l'infiniment grand, en passant par la matière solide, molle ou vivante, les ruptures sont déterminantes dans l'histoire de nos origines. La symétrie se brise et c'est tout un univers qui se "re-construit" »*, disent les scientifiques. Le dossier que *Sciences et Avenir* a choisi de mettre en couverture ce mois-ci raconte une histoire extraordinaire de ce genre. Celui des tout premiers temps de l'Univers. Quand une brisure de symétrie a conduit à l'une des plus grandes énigmes scientifiques : la prédominance de la matière, privilégiée dans l'Univers, aux dépens de sa symétrique l'antimatière, disparue au bataillon ! Matière et antimatière ont été produites lors du Big Bang (*lire p.35*), en émergeant du vide (2), estiment les astrophysiciens. Or, aussi loin que peut se porter l'observation, grâce aux télescopes terrestres ou spatiaux, voici des galaxies, encore des galaxies, voici des nébuleuses, des pouponnières d'étoiles... De la matière, toujours de la matière, et pas d'antimatière. Pourquoi ? L'interrogation a quelques décennies. C'est qu'on n'a pas toujours connu l'anti-électron, l'antihydrogène, les anti-atomes, *a fortiori* tout un antimonde fantôme à traquer... Tout a commencé au XXe siècle, quand les physiciens — en l'occurrence le génial Paul Dirac, ce qui lui valut le prix Nobel en 1933 — commencèrent par prédire de façon théorique l'existence de l'antimatière. Troublante apparition, d'ailleurs, au cœur d'une équation ! Ils surent ensuite en fabriquer dans leurs accélérateurs et s'efforcèrent de la piéger. Tâche ardue que de conserver celle qui, au moindre contact avec la matière, s'annihile, laissant place à une immatérielle énergie. Au passage, signalons que cette réaction d'annihilation est une fabuleuse source énergétique que l'on aimerait un jour exploiter (*lire p. 37*). Aujourd'hui, parce qu'elle conserve son mystère originel, les physiciens veulent observer l'antimatière, en laboratoire, aussi longtemps que possible. Percer à jour son comportement. D'où la construction d'appareillages sophistiqués, comme ceux de l'expérience Gbar qui doit débuter avant la fin de l'année au Cern (*lire p. 33*). L'antimatière *« tomberait-elle vers le haut ? »*, voilà le genre d'interrogation qu'elle soulève... De quoi mettre les neurones sens dessus dessous. Brisure de symétrie, on vous dit. ■ @dominiqueleglu

(1) Il l'a exposée en septembre, lors d'une représentation de LabOrigins, « Les ruptures, aux origines de l'improbable », au théâtre de la Reine Blanche (Paris), dirigé par la physicienne Elizabeth Bouchaud. Prochaine représentation, « Aux origines de l'énergie », Festival de Courbevoie, 16 octobre à 16 h. Rens. : **sciav.fr/836origines**
(2) Lire « Le vide est la matrice de tout », *S. et A.* n° 835, interview de Trinh Xuan Thuan, auteur de La Plénitude du vide, Albin Michel, 2016 et sur **sciav.fr/835thuan**



Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.00.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE
(pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.44.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT
(directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chefs de rubrique
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Arnaud DEVILLARD (numérique, data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT
(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter
(biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Brigitte BÈGUE, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Florence LEROY, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
J.-O. BARUCH, N. CELNIK, C. COUMAU, F. DANINOS, P. DUROUX, F. GALÉRON, P. KALDY, P. LE POAIZARD, A.-S. TASSARD.

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Photogravure Aurélien AUGER, Miloud BENTEBRIA, Jean-Luc CHYZY

Pôle digital
Erwan LECOMTE (chef de rubrique) - 01.55.35.56.56
Lise LOUMÉ (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Damien HYPOLITE
(chef de projet infographie) - 01.55.35.56.23
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Hugo JALINIÈRE (rédacteur santé) - 01.55.35.56.52
Morgane KERGOAT (rédactrice animaux) - 01.55.35.56.41

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Fabrication
Xavier LOTH (directeur de la fabrication)
Stéphanie TERREAU (chef de fabrication)

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
8, rue Jean-Antoine de Baïf, 75013 Paris
abonnements@sciencesetavenir.fr
Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

VENTES Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts) **0.800.24.69.33**

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale : Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU
Opérations spéciales : Joëlle HEZARD
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02
assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures : France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL
Secrétaire général : Jean-Claude Rossignol

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél. : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Presstalis.



Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend un message Historia et un tout-en-un Alix jetés sur la totalité de la diffusion des abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.



Cellier des Dauphins®

Signature

GRANDS VINS DES CÔTES DU RHÔNE





PLUS FORTE EST LA NATURE,
PLUS GRANDE EST LA SIGNATURE.

NÉS D'UN TERROIR DE TEMPÉRAMENT, LES VINS «SIGNATURE»
VOUS INVITENT À UNE DÉGUSTATION D'UNE RARE INTENSITÉ.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 836 / Octobre 2016

ESA/HUBBLE & NASA, JUDY SCHMIDT

DOSSIER P. 30

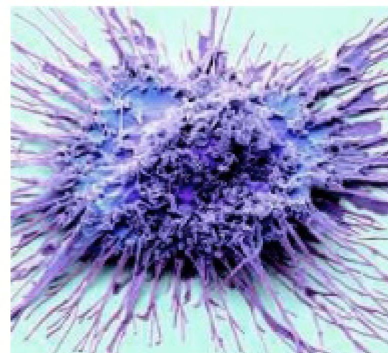
L'antimatière révèle les secrets de l'Univers

Sans elle, impossible d'expliquer les tout premiers instants de l'Univers. Pourtant elle demeure introuvable dans le cosmos. Dans leurs laboratoires, les physiciens rusent pour la recréer et permettre ainsi de définir le comportement de l'antimonde.



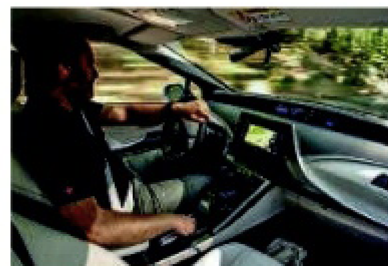
FLORENT VINCENT-RMN-GRAND PALAIS

Les splendeurs retrouvées d'Arégonde, reine mérovingienne p. 48



S. GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS

Les promesses d'un vaccin curatif universel contre le cancer p. 74



OLIVIER HERTEL POUR SCIENCES ET AVENIR

Les atouts de la voiture à hydrogène passés au crible p. 78

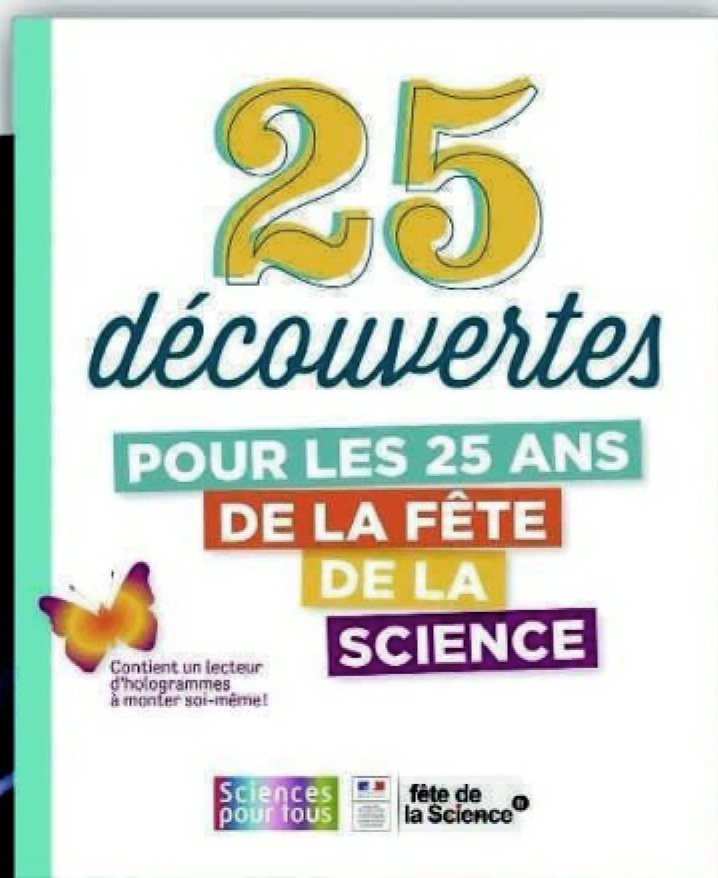


fête de la Science fr

Le livre-cadeau offert* en librairie pour célébrer la science

dès le 8 octobre

Contient un lecteur d'hologrammes à monter soi-même



* Livre gratuit ne peut être vendu. Offert pour l'achat d'un livre de sciences, dans la limite des stocks disponibles. Liste des libraires participants sur sciencespourtous.org





Syndicat national de l'édition

Sciences pour tous

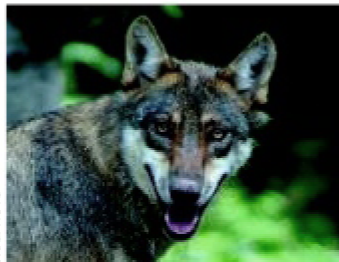
Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**

Le loup dans les Alpes

Lecteur fidèle de *Sciences et Avenir*, je voudrais vous signaler que vous avez oublié dans l'article « Le tour de France de la faune sauvage » (*S. et A.* n° 835) de situer le loup dans les Alpes. Le tableau de ces grands prédateurs n'est pas réjouissant pour ces espèces emblématiques, malgré la protection dont elles sont l'objet. La chasse et surtout le braconnage sont perturbants pour une espèce très sociale. On obtient le résultat inverse : augmenter l'agressivité des loups vis-à-vis des troupeaux.

Jean-Paul Vieron (courriel)

S. et A. : S'il est exact que nous avons omis de mentionner les Alpes dans les zones de répartition du loup en France, nous mentionnons dans le corps de l'article les abattages effectués dans le département des Alpes-Maritimes. C'est en 1992 par le Parc national du Mercantour que les loups sont revenus naturellement en France depuis l'Italie.



BIOSPHOTO

Et la science française ?

Pourquoi toujours citer des universités étrangères dans votre revue dont je suis un fidèle lecteur ? Et la France ? Ne sommes-nous pas à l'origine de nombreuses découvertes ?

André Finance (Vaucluse)

S. et A. : Pratiquant notre métier sans aucun ostracisme, nous citons toutes les équipes qui font l'actualité et dont les travaux ont retenu notre attention. Et les Français y ont une grande part. Ainsi, dans *Sciences et Avenir* n° 835, nous citons les travaux pionniers du laboratoire Micalis de l'Inra à Jouy-en-Josas dans notre dossier sur « Le ventre clé de notre santé » ; nous exposons les travaux de la paléogénéticienne Céline Bon (musée de l'Homme) dans notre article sur « La part de Neandertal en nous » ; nous faisons le portrait sur deux pages de Laurent Bruxelles, géomorphologue au CNRS. Cette liste pourrait s'enrichir de nombreux autres exemples...



ACTUALITÉS
Nature

Les éoliennes flottantes prennent le large

Sur la façade atlantique et en Méditerranée, deux parcs éoliens vont être installés à 15 km des côtes.

Du cuir... à base de champignons !

« Les éoliennes flottantes prennent le large » (*Sciences et Avenir* n° 835, septembre 2016).

Comparaison n'est pas raison

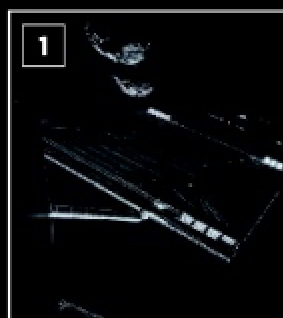
Une réaction sur votre article concernant les éoliennes flottantes dans *Sciences et Avenir* n° 835. Vous affirmez : « *Le potentiel français de cette nouvelle source d'énergie est estimé à 6 gigawatts, soit l'équivalent de 4 réacteurs nucléaires EPR.* » Utiliser le mot « équivalent » pour comparer 6 GW d'éolien avec 6 GW de nucléaire est faux. Il n'y a en rien une « équivalence » derrière l'égalité des puissances installées.

Alain Faure (courriel)

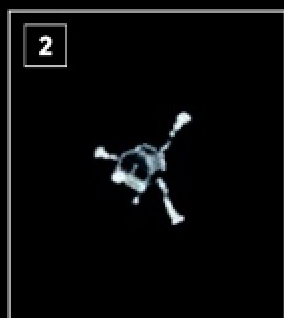
S. et A. : En effet, il vaudrait mieux comparer non pas la puissance mais la production moyenne annuelle de l'énergie dispensée par l'EPR avec celle de l'éolien.

Rectificatif

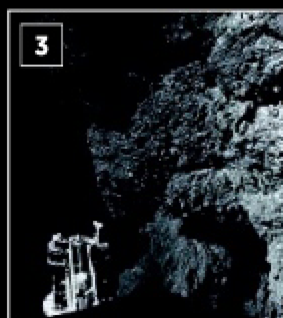
Nous avons placé par erreur l'océan Atlantique à la place du Pacifique sur une carte du Mexique dans l'article sur le tunnel du roi maya Pakal (*S. et A.* n° 835 septembre 2016).



14 SEPTEMBRE 2014
Rosetta prend un « selfie ». Grâce à la caméra CIVA, la sonde s'est photographiée à 16 km au-dessus de Tchouri.



12 NOVEMBRE 2014
Le robot Philae largué par la sonde descend vers le sol de la comète.



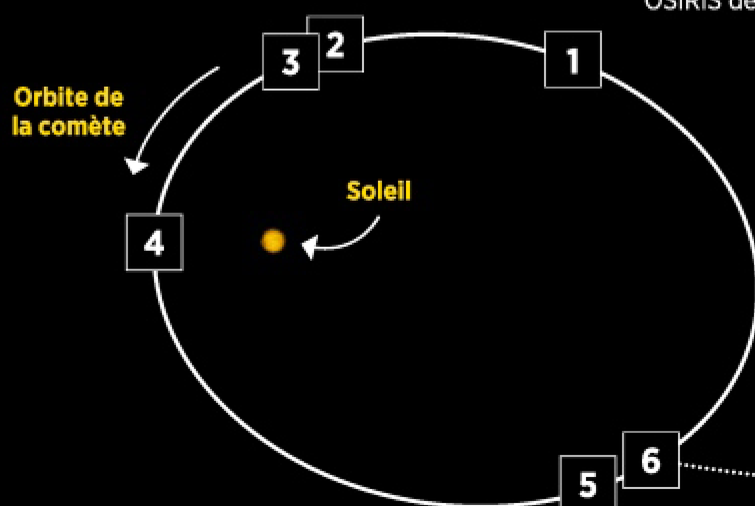
13 NOVEMBRE 2014
Sain et sauf ! Philae s'est posé à la surface de la comète et transmet cette photo depuis un lieu indéterminé.



14 AOÛT 2015
Tchouri à quelques jours de son périhélie (point de l'orbite le plus proche de Soleil) vue par la caméra OSIRIS de Rosetta.

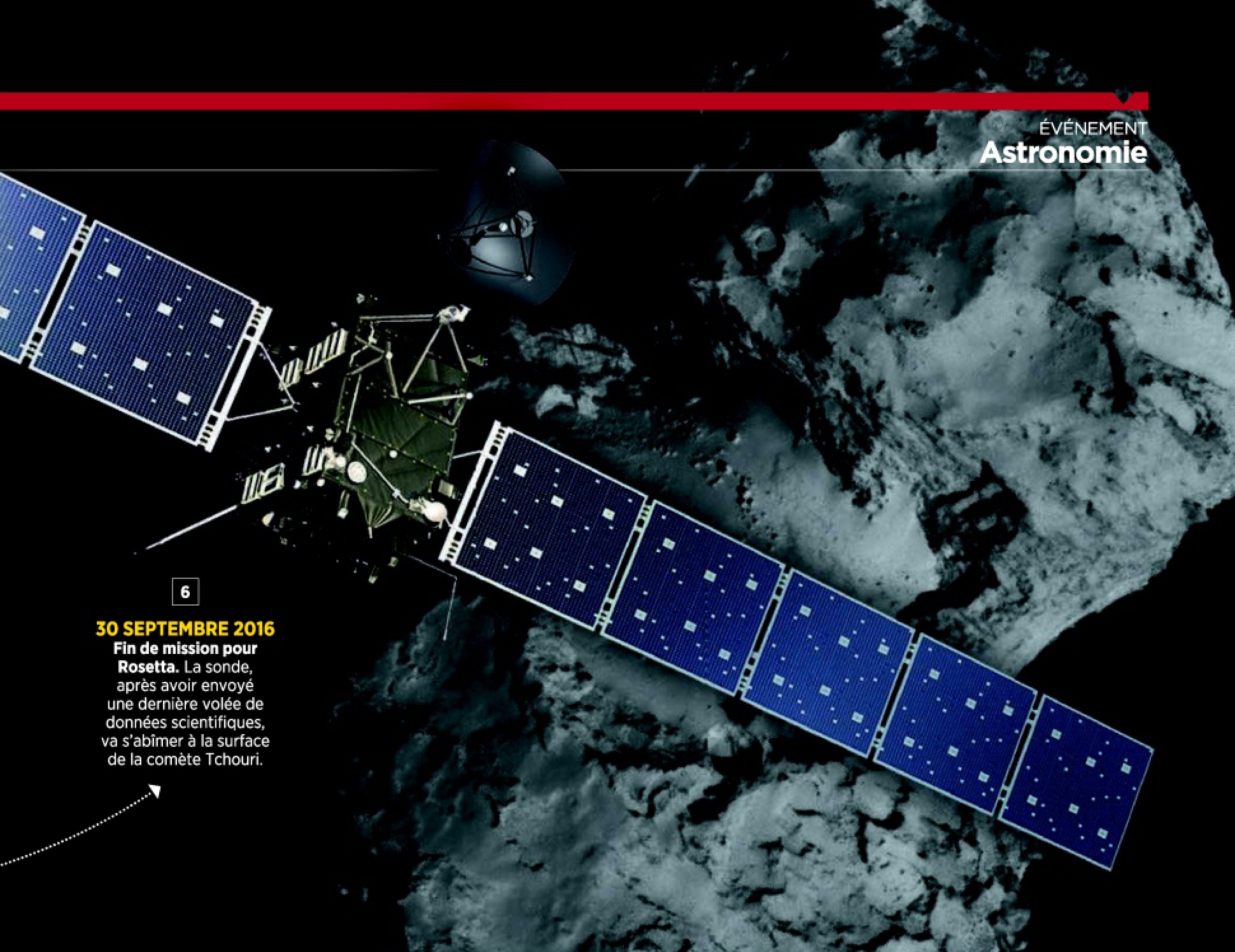


2 SEPTEMBRE 2016
On a retrouvé Philae ! Le robot a été identifié sur cette image prise à 2,7 km de distance par la caméra OSIRIS.



Rosetta-Tchouri, le baiser d'adieu

Après deux ans de survol, la sonde Rosetta va achever sa mission en se posant sur la comète Tchouri, d'où elle cessera d'émettre. Retour sur les grandes découvertes de cet ambitieux programme européen.



30 SEPTEMBRE 2016
Fin de mission pour Rosetta. La sonde, après avoir envoyé une dernière volée de données scientifiques, va s'abîmer à la surface de la comète Tchouri.

ESA/ROSETTA/NAVCAM

PAR Erwan Lecomte

Un drame à plus de 710 millions de kilomètres de la Terre. Compagne de voyage de la comète Tchouri (67P/Tchourioumov-Guérassimenko) pendant plus de deux ans, la sonde Rosetta doit se poser à sa surface le 30 septembre vers 12 h 30. Un impact fatal sur Ma'at, une région de puits d'effondrement actifs, à la vitesse de moins de 2 km/h, précédé d'un dernier souffle : la transmission vers la Terre d'une ultime volée de données. Ainsi doit s'achever une spectaculaire mission européenne durant laquelle les Terriens ont pu suivre les aventures inédites de ce couple star de l'espace : Rosetta et son petit atterrisseur robotisé, Philae, premier engin à se poser à la surface d'une comète *(lire l'encadré p. 10)*.

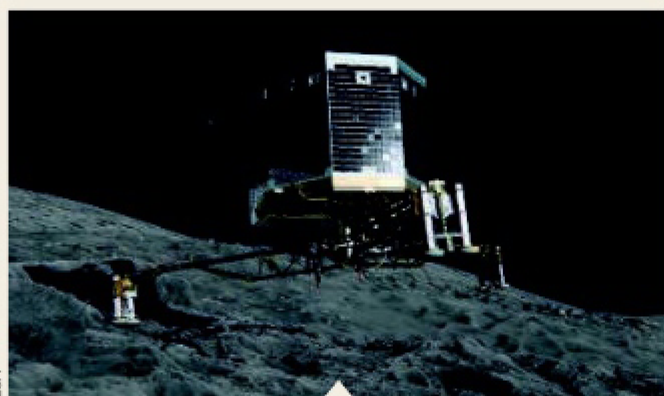
Avant de disparaître à jamais, Rosetta et Philae auront écrit une grande page de l'histoire des comètes. En s'approchant de Tchouri, puis en parvenant pour l'un à toucher son sol après de multiples rebondissements au sens propre comme au figuré, ces deux engins ont espionné le moindre mouvement de l'astre : le formidable accroissement de son activité au fur et à mesure de son approche du Soleil, le déploiement de sa chevelure, puis son retour au calme après son passage au périhélie. Au péril de leurs instruments de bord, soumis à des écarts de températures allant de -270 °C à plus de 80 °C lors du passage au plus près du Soleil, les deux compères ont transmis aux centres de Darmstadt, Madrid, Cologne et Toulouse, des milliers de données sur sa structure et sa composition qu'il faudra encore une dizaine d'années pour éplucher. Avec, à la clé, des réponses à de nombreuses questions que se posaient les scientifiques sur les comètes. Voici les principaux enseignements de cette ambitieuse mission d'un coût de 1,4 milliard d'euros.

Une formation par accrétion de deux blocs

Alors que les astronomes européens s'attendaient à découvrir une forme vaguement sphérique, ils ont eu la surprise de constater que Tchouri présentait la forme… d'un canard de bain de 4,5 km avec un corps et une tête. Pourquoi cette forme à deux lobes ? Une étude poussée de la stratification en multiples couches observée sur la comète couplée à son champ de gravité a montré que ▶

ATTERRISSEUR

L'épopée du petit robot Philae


ESA

Philae aurait dû se poser bien droit sur ses jambes (vue d'artiste). Quelques rebonds en ont décidé autrement…

Le 12 novembre 2014 le monde retient son souffle tandis que la sonde Rosetta, à 510 millions de kilomètres de la Terre, largue le petit module Philae en direction de la surface de la comète Tchouri. Ce dernier doit, entre autres, réaliser des analyses directement à la surface de la comète, bien plus près que ne pourra jamais le faire la sonde Rosetta. Mais quelques heures avant la séparation, les propulseurs censés plaquer Philae au sol afin d'éviter qu'il ne rebondisse ne fonctionnent pas. Tous les espoirs résident donc dans les grappins que le robot doit tirer pour s'ancrer à la comète, et dans les foreuses placées sous ses pieds pour le fixer au sol. Mais les grappins, eux aussi, défaillent. Résultat : Philae rebondit à la surface de la comète trois fois et termine sa course à plusieurs centaines de mètres de la zone d'atterrissage visée, au pied d'une zone rocheuse partiellement dans l'ombre. Le temps presse : trop peu exposés aux rayons du Soleil, les panneaux photovoltaïques de Philae ne pourront pas recharger ses batteries. Vaillamment, le robot transmet des images, analyse des poussières et des gaz capturés durant sa descente, sonde le noyau de la comète, et tente de faire fonctionner sa foreuse. Mais du fait de sa position précaire, le forage est un échec. Deux heures après son atterrissage, Philae entre en hibernation. Malgré plusieurs tentatives, aucune liaison stable ne sera plus jamais rétablie avec le petit robot. Ce dernier ne sera repéré, sur une photo prise par Rosetta, que début septembre 2016, soit 25 jours avant la fin de la mission.

cet aspect singulier est dû en fait à la fusion, au moment de la formation de l'astre en même temps que notre système solaire (4,6 milliards d'années), de deux blocs distincts qui se seraient percutés à faible vitesse, se « soudant » ainsi l'un à l'autre.

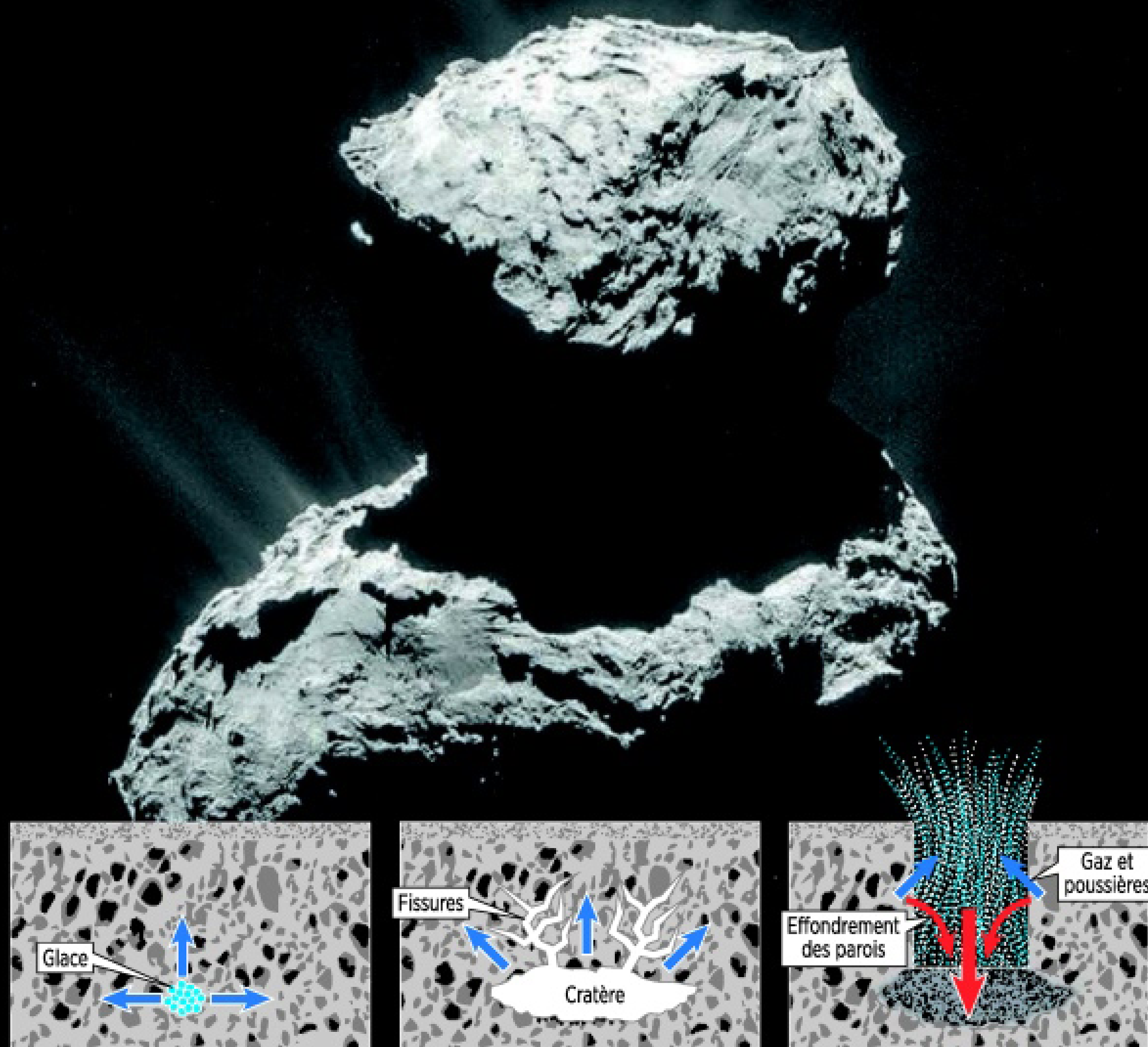
On a compris comment fonctionne une comète

Tchouri étant lancée sur une orbite la rapprochant du Soleil à des vitesses de 10 à 30 km/s, Rosetta a pu observer grâce à ses 11 instruments scientifiques les très importantes variations de son activité alors qu'elle était soumise à un flux de chaleur solaire croissant. De quoi mettre en évidence son fonctionnement que l'on peut expliquer ainsi : l'onde de chaleur provenant du Soleil frappe la surface de la comète et y pénètre, sublimant (passage de l'état solide à l'état gazeux) les glaces et produisant un échappement de ce gaz. Mais la comète tournant sur elle-même (avec une période d'un peu plus de 12 h), celles-ci se reforment très vite à la surface des zones non exposées au rayonnement solaire. Pourtant, le processus de sublimation se poursuit en profondeur : la vapeur d'eau se fraie un chemin jusqu'à la surface où elle gèle de nouveau. Lorsque la comète est une nouvelle fois exposée au Soleil, le cycle recommence.
Par ailleurs, les astronomes ont observé la naissance de véritables trous, pouvant atteindre plus de 100 mètres de diamètre et encore plus de profondeur, qui éjectent de puissants geysers de vapeurs à plus de 2000 km/h. Un effet Kärcher qui entraîne des grains de poussière, et des fragments de la matière qui compose la comète.

> La molécule d'eau de Tchouri a un rapport hydrogène/deutérium trois fois plus important que sur Terre

Elle n'aurait pas apporté l'eau sur Terre

Les comètes étant formées en grande partie de glace, auraient-elles pu apporter l'eau de nos océans en bombardant en très grand nombre la Terre au fil de milliards d'années ? Pour répondre, Rosina, un spectromètre embarqué sur la sonde Rosetta, a analysé les molécules d'eau de la chevelure de Tchouri. L'étude a consisté à mesurer la proportion d'hydrogène (H) par rapport à celle de son isotope*, le deutérium (D), leurs proportions relatives étant étroitement liées aux conditions dans lesquelles les molécules se sont formées. Verdict : le rapport D/H étant trois fois plus important sur Tchouri que celui de l'eau Terrestre, ce ne serait donc pas des comètes que proviendrait notre eau ! En tout cas pas de Tchouri.
« Cela signifie que Tchouri s'est formée très loin du Soleil, car un rapport D/H plus faible résulterait d'une formation dans un milieu plus chaud, plus proche de notre étoile », explique Patrick Martin, responsable de la mission Rosetta à l'ESA. Pourtant, l'affaire n'est pas encore entendue : d'autres comètes dites de la famille de Jupiter (dont l'orbite passe près de la géante) présentent en effet un rapport isotopique plus proche de celui de l'eau terrestre. *« Mais il y a peut-être une incertitude sur les mesures. Même si celles réalisées par Rosetta ont une précision encore jamais atteinte »*, relativise Francis Rocard, responsable du programme système solaire au Centre National d'Etudes Spatiales. Le paradoxe est que 67P est une comète de la famille de Jupiter d'où la surprise de ce résultat. Les scientifiques se tournent donc



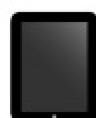
La glace du sol de la comète, riche en particules, est sublimée en gaz par la chaleur du Soleil, entraînant la formation d'un cratère suivie de son effondrement avec éjection de gaz et de poussières.

ESA / ROSETTA / ANV CAM - INFOGRAPHIE : BETTY LAFON

vers l'autre hypothèse : celle des astéroïdes. *« Certes, ces derniers contiennent beaucoup moins d'eau mais ils sont beaucoup plus nombreux. La mission OSIRIS-REx* (lire ci-dessous) *devrait fournir de nouvelles données pour étudier cette piste »*, complète Francis Rocard.

▸ On comprend la genèse de la comète

La comète Tchouri s'est-elle formée en même temps que notre système solaire ou s'agit-il d'une voyageuse bien plus ancienne qui a fini par être capturée par le champ de gravitation du Soleil ? *« Les observations et détections (notamment par le spectromètre Rosina) de molécules comme l'azote, l'oxygène et l'argon suggèrent que la comète s'est formée très tôt dans le système solaire »*, explique Patrick Martin. Des études montrent que l'oxygène moléculaire qui la compose (elle en contient 3 %, ce qui est énorme) est même plus ancien que le système solaire, et aurait été emprisonné dans la glace de Tchouri lors de sa formation.



LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'ensemble des nos articles consacrés à Rosetta sur notre site : **sciav.fr/Heritagerosetta**

« L'oxygène aurait été formé à partir de molécules d'eau qui existaient alors sous forme de grains de glace dans le nuage interstellaire qui a précédé la formation de la nébuleuse protosolaire », explique Olivier Mousis, chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Ces molécules d'oxygène auraient ensuite été capturées lors de la formation des grains de glace. *« Ces derniers auraient par la suite été transportés dans les parties externes de la nébuleuse protosolaire, et se seraient agglomérés pour former les comètes »*, poursuit le chercheur.

▸ Une chimie qui contient des « briques de la vie »

Les nombreux composés organiques — c'est-à-dire contenant des atomes de carbone et d'hydrogène — découverts sur Tchouri laissent les chercheurs rêveurs : il se pourrait qu'ils soient le signe que les comètes ont contribué à ensemencer la Terre avec les « briques » moléculaires indispensables à l'apparition de la vie. Parmi eux, la glycine, l'acide aminé le plus simple qui soit ($C_2H_5NO_2$). *« C'est la première fois que nous avons la preuve qu'une brique essentielle du vivant peut se former naturellement dans le milieu interstellaire »*, s'enthousiasme Francis Rocard. Mais ce n'est pas tout. Des macromolécules contenant plusieurs centaines d'atomes de carbone, si imposantes qu'il est impossible de leur attribuer une formule chimique, ont été repérées dans les grains de poussière qui s'échappent de la comète. Ces énormes molécules organiques peuvent-elles avoir constitué les briques élémentaires ayant permis à une chimie prébiotique de se mettre en place sur Terre ? La question est encore sans réponse. ■

@Erwan_Lecomte

MISSION OSIRIS-REX

Un retour d'échantillon à haut risque


LOCKHEED MARTIN

Origins-Spectral Interpretation-Resource Identification-Security-Regolith Explore, plus couramment appelée OSIRIS-REx, est une mission de la Nasa dont l'objectif est d'envoyer une sonde examiner l'astéroïde Bennu, découvert en 1999. Elle a décollé le 9 septembre et file actuellement vers ce corps céleste qui orbite autour du Soleil avec une période d'un peu plus d'un an. La rencontre entre la sonde et son sujet d'étude devrait intervenir en août 2018. Comme Rosetta l'a fait avec sa comète, la sonde OSIRIS-REx *(photo)* devrait scruter l'astéroïde sous toutes ses coutures pendant plusieurs mois. La partie la plus délicate de la mission viendra ensuite. Elle consistera à frôler la surface de Bennu afin d'y prélever quelques grammes de poussière, puis à les ramener intacts sur Terre en 2023.

* On appelle isotopes, les éléments possédant le même nombre d'électrons et de protons mais dont le nombre de neutrons diffère.

Proxima b si « proche » de la Terre

Cette planète rocheuse a une masse équivalente à celle de la Terre. La présence d'une atmosphère reste à confirmer.

Rocheuse comme la Terre, Proxima b gravite autour de l'étoile Proxima du Centaure (vue d'artiste).

ESO/M. KORNMESSER

ASTRONOMIE Elle est située à « seulement » 4,24 années-lumière de la Terre. C'est donc l'exoplanète potentiellement habitable la plus proche, à un quart de la distance de la candidate suivante, Wolf 1061, qui se trouve, elle, à 14 années-lumière. Sa découverte vient d'être confirmée par l'Observatoire européen austral (ESO). Proxima b gravite autour de Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du système solaire. Elle serait rocheuse, comme la Terre et sa masse 1,3 fois supérieure. Elle reçoit assez d'énergie pour que l'eau, si sa surface en abrite, puisse demeurer à l'état liquide *(lire aussi p. 44)*. Un élément indispensable (mais pas suffisant) pour espérer y trouver de la vie. La température à sa surface est estimée entre -50 °C et -30 °C, mais si Proxima b était pourvue d'une atmosphère, sa surface serait réchauffée comme celle de la Terre. L'existence de cette atmosphère est donc le prochain point à éclaircir. **E. L.**

Jupiter, vue par Juno



NASA/JPL CALTECH/SWRI/MSSS

Le pôle nord de Jupiter photographié par la sonde américaine.

ASTRONOMIE
Le 27 août, la sonde Juno de la Nasa a achevé sa première orbite complète autour de la planète géante. L'engin terrestre a frôlé les nuages les plus hauts de l'atmosphère jovienne, à seulement 4200 km de distance. Voici la première image qu'elle nous a envoyée. Juno effectuera 35 révolutions complètes autour de Jupiter et achèvera sa mission, autour de février 2018, en se précipitant à la surface où elle se désintégrera. J. I.

L'œil de Lascar

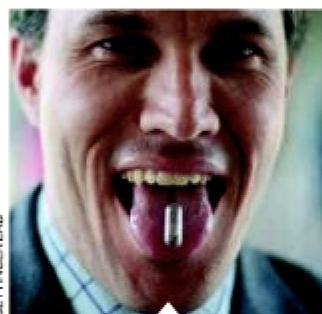


UN RADIOTÉLESCOPE russe a détecté un signal évoquant une émission artificielle volontaire. Son origine devait être débattue au Congrès astronomique de Guadalajara (Mexique), du 27 au 30 septembre. **O. L.**

IDÉE NEUVE

Le carbone serait issu d'une collision géante

CHIMIE La quasi-totalité du carbone sur Terre proviendrait d'une collision entre la Terre et un planétoïde de la taille de Mercure il y a 4,4 milliards d'années. Rajdeep Dasgupta de l'université Rice à Houston (États-Unis) propose ce scénario inédit à la suite de simulations conduites dans son laboratoire. Lors de la collision, le noyau du planétoïde se serait mêlé à celui de la Terre, tandis que le contenu du manteau riche en carbone se serait mélangé au manteau terrestre. **J. I.**



BETTINGERLAB

La capsule pourra être ingérée.

Demain, les batteries seront comestibles

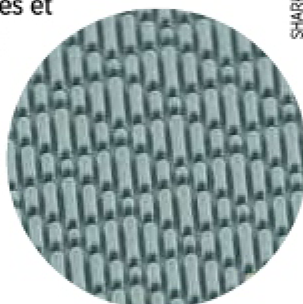
PHYSICO-CHIMIE Pour alimenter des dispositifs médicaux à ingérer, des ingénieurs l'université Carnegie-Mellon, à Pittsburgh (États-Unis), ont développé des batteries comestibles à partir de composants naturels — mélanine, mais aussi sodium, fer ou cuivre. Leur dispositif serait capable d'alimenter un appareil de 5 milliwatts pendant 18 heures. **J. I.**

Une molécule aussi grosse qu'une bactérie

CHIMIE Deux chimistes de l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse) ont créé une étrange entité : deux atomes de césium formant une molécule d'un micromètre, c'est-à-dire 10 000 fois plus grande qu'une molécule de dioxygène. Et elle obéit aux étranges lois de la physique quantique qui s'applique d'habitude au monde subatomique. A. Kh.

Le requin inspire un dispositif antibactérien

MATÉRIAUX La société américaine Sharklet a conçu un matériau antibactérien s'inspirant de la peau du requin et des denticules cutanés qui la recouvrent empêchant les micro-organismes marins de s'y accrocher. Le matériau synthétique pourrait être utilisé à l'hôpital pour faire des bandages ou recouvrir blocs opératoires et cathéters. **N. C.**

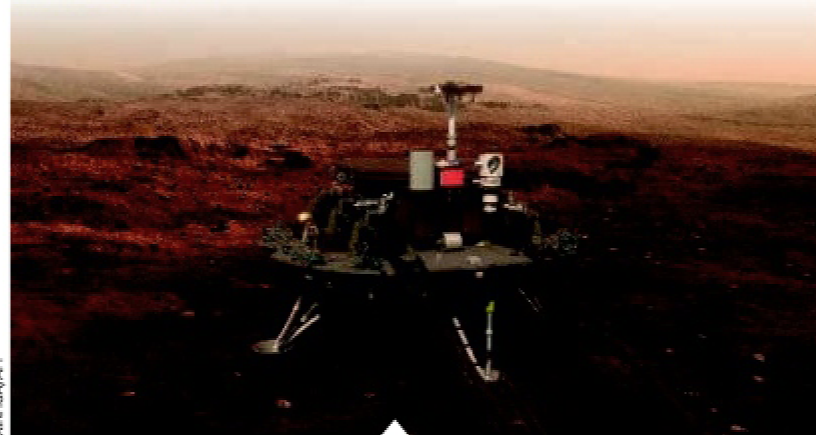


SHARKLET TECHNOLOGIES

La micro-structure du film empêche de la coloniser par des bactéries.

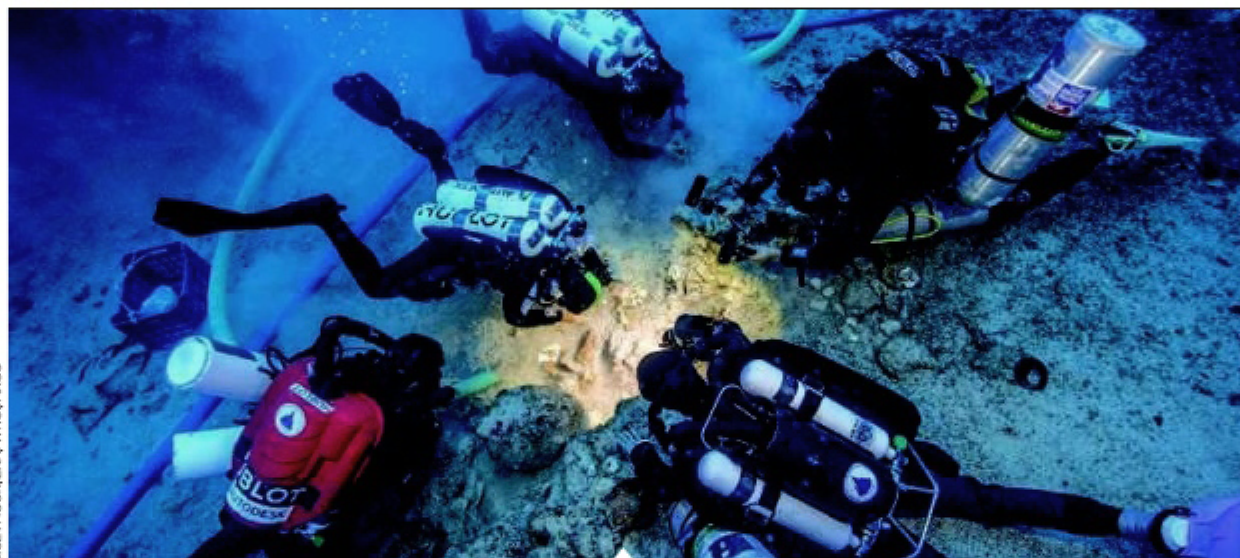
Objectif Mars pour la Chine

ESPACE La Chine a dévoilé les premières images de synthèse du robot téléguidé qu'elle compte faire débarquer sur Mars d'ici à fin 2020. Le rover, d'un poids de 200 kg, sera muni de six roues et de quatre panneaux solaires, et devrait être opérationnel durant environ 92 jours. Le premier véhicule téléguidé lunaire chinois — le « Lapin de Jade » —, lancé fin 2013, s'est quant à lui définitivement éteint début août. **M. N.**



XINHUA/AFP

Le véhicule téléguidé devrait atterrir sur Mars d'ici à 2020 (vue d'artiste).



B.SEYMOUR, ENA/WHOI/ARGO

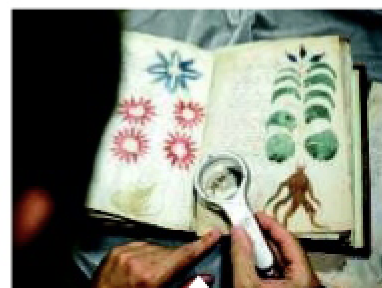
Les ossements ont été mis au jour par 50 mètres de fond au large de l'île d'Anticythère, au sud-est du Péloponnèse.

Un corps retrouvé dans une épave vieille de 2000 ans

Sur le site de l'épave d'Anticythère, en Grèce, des restes humains ont été remontés à la surface.

ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE Les restes d'un squelette humain vieux de 2000 ans viennent d'être découverts par l'expédition sous-marine de la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (États-Unis) sur le site de la célèbre épave d'Anticythère, au large de l'île grecque du même nom, en mer Égée. C'est là qu'un navire romain du Ier siècle avant notre ère avait été mis au jour en 1901, révélant un extraordinaire mécanisme de bronze, dont l'usage a fait l'objet de multiples interprétations. Aujourd'hui, ce sont trois dents, une partie de boîte crânienne, plusieurs côtes ainsi que deux fémurs qui ont été remontés à la surface. En 1976 déjà, Jacques-Yves Cousteau et les plongeurs de la *Calypso* avaient récupéré quelques ossements humains sur cette épave. Mais les techniques d'analyse ont évolué. La recherche d'ADN pourrait ainsi apporter des informations inédites, mais elle devra être autorisée par le ministère grec de la Culture. **B. A.**

Un fac-similé du manuscrit de Voynich


CESAR MANSO/AFP

Découvert en Italie, le livre est écrit dans une langue inconnue.

PALÉOGRAPHIE **Après dix ans de négociations, une petite maison d'édition espagnole a obtenu l'autorisation de produire près d'un millier de copies du manuscrit de Voynich. Ce livre mystérieux, qui d'après les datations aurait été fabriqué entre 1404 et 1438, est conservé à l'université Yale, aux États-Unis. Le prix de chaque exemplaire devrait être compris entre 7000 et 8000 €. M. N.**

47 000 ans

L'âge de la plus vieille aiguille à chas

PRÉHISTOIRE **Découverte cet été dans la grotte de Denisova (Sibérie), qui a livré un hominidé d'une espèce différente de la nôtre, la première aiguille n'aurait pas été manipulée par un *Homo sapiens*. Une annonce à confirmer. R. M.**

Les dinosaures savaient se camoufler

PALÉONTOLOGIE Un fossile de psittacosaure (ou « lézard perroquet ») du début du crétacé, (-130 à -100 millions années) retrouvé dans le nord-est de la Chine a permis de prouver que les dinosaures avaient la capacité de se camoufler dans leur environnement. La mélanine conservée dans ses tissus a révélé un dos brun et un ventre clair qui devaient le rendre difficilement visible par ses prédateurs, notamment en forêt dans une lumière diffuse. **M. Le P.**

SOURCE : J. VINTHER, UNIVERSITY OF BRISTOL, ROYAUME-UNI.

La garde-robe soignée de l'homme des glaces

PALÉOMATÉRIAUX **Ötzi, « l'homme des glaces » vieux de 5300 ans retrouvé dans les Alpes en 1991, choisissait avec soin la matière de ses tenues. L'analyse de l'ADN de neuf fragments de cuir a permis d'identifier cinq espèces différentes, dont des animaux sauvages qu'il devait donc chasser. Ainsi, le chapeau était en fourrure d'ours brun et le carquois en cuir de chevreuil. Quant au cache-sexe, il a été confectionné avec de la peau de mouton. M. N.**

PHOTOS: SOUTH TYROL MUSEUM OF ARCHAEOLOGY







Bonnet en fourrure d'ours brun, chausses et manteau en peau de chèvre, cape en peau et végétaux... Ötzi utilisait toutes les ressources pour se vêtir.

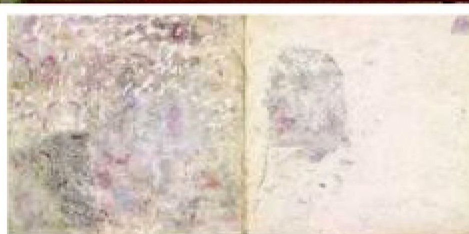

HURTIGRUTEN.FR

Le codex Selden révèle ses secrets

Le déchiffrement de ce document précolombien devrait permettre de mieux connaître la culture mixtèque.



JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCES, 2016, ELSEVIER



L'image hyperspectrale a mis en évidence des glyphes (ci-dessus) cachés sous une couche de plâtre et de craie (à gauche).

PALÉOGRAPHIE Voir ce qui était resté invisible à l'œil nu pendant 500 ans... Des scientifiques de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) et de l'université de Leyde (Pays-Bas) sont parvenus à déchiffrer un document précolombien, le codex Selden, daté de 1560 (aussi connu sous le nom de codex Anute), en utilisant la technique de l'imagerie hyperspectrale. Celle-ci permet de révéler des tracés disparus en filtrant différentes parties de la lumière. Des scènes colorées, dissimulées sous d'épaisses couches de plâtre et de craie, ont ainsi resurgi. Elles constituaient un système complexe de dessins à valeur phonétiques ou symboliques. Ce manuscrit sur cuir de cerf constitue ainsi une mine d'informations sur l'histoire des Mixtèques, un peuple mésoaméricain de la région d'Oaxaca (Mexique), contemporain des Aztèques (Xe-XVe siècles). Conservé à Oxford, ce palimpseste (manuscrit dont on a effacé le texte pour en écrire un nouveau) est l'un des 20 codex mexicains à avoir survécu à la conquêteespagnole. Un héritage unique. **B. A.**



2016 ROSS ET AL

Des nids de guêpes permettent de dater l'art pariétal

PRÉHISTOIRE Pour établir l'âge des peintures rupestres des abris-sous-roche du nord de l'Australie, des archéologues ont daté le moment où des grains de quartz ont été emprisonnés dans la boue des nids fossilisés de guêpes déposés sur les fresques *(photo ci-contre)*. L'utilisation de la luminescence optiquement stimulée a ainsi permis d'estimer qu'ils n'étaient plus exposés à la lumière depuis 16 000 ans. **B. A.**

Chasse aux boules préhistoriques

PRÉHISTOIRE 6 à 7 cm de diamètre pour 500 à 100 g : les sphéroïdes — des boules de pierre de forme naturellement ronde — découverts dans la vallée de Makapan en Afrique du Sud, étaient idéalement calibrés en poids et taille pour attaquer un gibier moyen à 25 m. Il y a 500 000 ans, les anciens *Homo* repéraient et entassaient les projectiles appropriés dans leur grotte en vue des prochaines chasses. **R. M.**

SOURCE : A. WILSON, LEEDS BECKETT UNIVERSITY, ROYAUME-UNI.

◀ **Les sphéroïdes,** des projectiles choisis avec soin pour faire un maximum de dégâts.

JUDY MAGUIRE

Gergovie : un dallage basaltique d'exception

ANTIQUITÉ Un pavement de plus de 3000 mètres carrés composé de blocs de basalte a été mis au jour sur le site de Gergovie (commune de La Roche-Blanche, Puy-de-Dôme), le célèbre oppidum où Vercingétorix vainquit les légions de César au Ier siècle avant notre ère. Ce monumental appareillage, rencontré pour la première fois en France, confirme les imposantes dimensions de la cité fortifiée. **B. A.**



CAILIN HAI

Des restes humains mis au jour sur le site de Lajia.

La géologie confirme un mythe d'origine en Chine

SINOLOGIE Une inondation catastrophique dans la vallée du fleuve Jaune il y a 4000 ans est, selon la tradition, à l'origine de l'établissement des Xia (2200 - 1766 avant J.-C.), la première dynastie de la civilisation chinoise. Or, des scientifiques de l'université de Pékin pensent avoir découvert les traces de ce « déluge » sur le site de Lajia dans le Qinghai, réconciliant du même coup chronologies traditionnelles et archéologiques. **B. A.**



CRYSTAL CRUISES, LLC / AFP

Le réchauffement climatique a permis au paquebot « Crystal Serenity » de relier les océans Pacifique et Atlantique.

La fonte des glaces arctiques ouvre des voies navigables

Croisiéristes et armateurs comptent bien emprunter le mythique passage du Nord-Ouest dans l'océan Arctique.

TRANSPORTS Cet été, le paquebot *Crystal Serenity* a mené à bien une traversée depuis Seward (Alaska) jusqu'à New York en empruntant pour la première fois le passage du Nord-Ouest : une voie d'environ 1500 kilomètres de long qui relie l'océan Atlantique à l'océan Pacifique à travers les îles arctiques. À bord, 1000 personnes pour une croisière inédite rendue possible par l'accélération de la fonte des glaces polaires. Chaque hiver, ces glaces recouvrent l'océan Arctique puis disparaissent en partie l'été venu. Avec le réchauffement climatique, la surface persistante diminue, rendant navigable une portion de l'océan Arctique. Deux voies sont déjà utilisées : les passages du Nord-Ouest et du Nord-Est, notamment par les armateurs de fret russes et chinois. Le trafic y est encore sporadique mais si la tendance climatique perdure, en 2020, 50 millions de tonnes transiteront dans le passage du Nord-Est, selon la Fédération des armateurs norvégiens. **J. I.**

250 000 km

Le total de chemins ruraux disparus en 40 ans

ENVIRONNEMENT
Les chemins ruraux disparaissent, la plupart du temps annexés par des agriculteurs augmentant illégalement leur surface agricole ou réunissant deux parcelles. Cette situation avait incité les parlementaires à imposer la protection des 750 000 km restants dans le cadre de la loi biodiversité. Las ! le 4 août, Conseil d'État a invalidé la mesure pour des raisons purement procédurales. **L. C.**


BOUCARET

À VOIR SUR LE NET

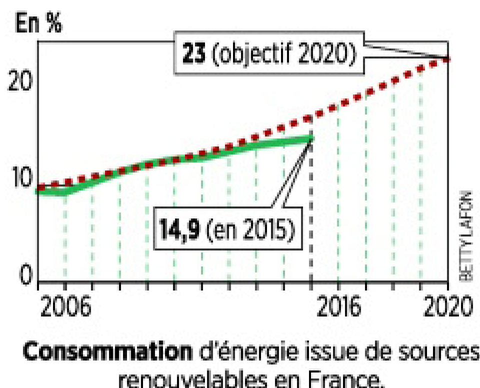
La nouvelle carte des migrations animales


TNC - MAPBOX

BIODIVERSITÉ Sur une carte, les trajets probables de migration de 2954 espèces américaines contraints à changer d'habitat face aux changements climatiques. Les animaux auront tendance à fuir les États-Unis pour migrer vers le nord. Au sud, les amphibiens se dirigeront alors vers l'ouest tandis que les mammifères et les oiseaux descendront vers l'Antarctique **A.-S. T.**
sciav.fr/836migration

Énergies renouvelables françaises, encore un effort !

DÉVELOPPEMENT DURABLE
Selon ses engagements européens, la France devra consommer 23 % de son énergie à partir de sources renouvelables en 2020 (*lire* S. et A. *n° 835*). Or aujourd'hui, le pays est à 14,9 %. Pour le Commissariat général au développement durable, la France sera en retard si elle ne double pas ses efforts en éolien, solaire, biomasse, etc. **L. C.**

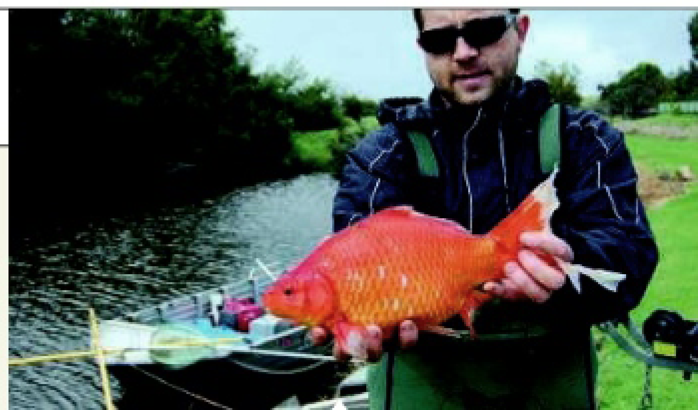


Consommation d'énergie issue de sources renouvelables en France.

PAROLES

« Nous demandons à ce que l'entreprise en charge du pipeline [Dakota Access] suspende volontairement toute construction à 20 miles [32 km] de part et d'autre du lac Oahe »

Déclaration du gouvernement américain du 9 septembre à propos de ce projet controversé d'oléoduc autorisé en mars 2016.



Lâchés dans les cours d'eau australiens, les poissons rouges se reproduisent, grossissent et deviennent des prédateurs.

Le poisson rouge, terreur des rivières

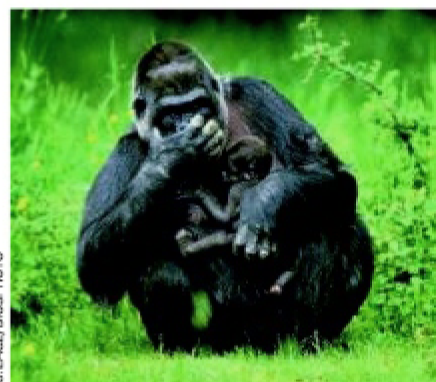
ICHTYOLOGIE En Australie, des poissons rouges introduits depuis environ vingt ans dans des rivières peuvent mesurer quelque 40 centimètres et peser jusqu'à 2 kg ! Le roi des aquariums (*Carassius auratus*) est l'une des pires espèces aquatiques invasives, capable de parcourir 230 kilomètres en une année pour coloniser de nouveaux milieux. **A.-S. T.**

SOURCE : STEPHEN J. BEATTY, MURDOCH UNIVERSITY, PERTH, AUSTRALIE.

Gorilles en danger, panda en sursis

Ces grands primates viennent d'être ajoutés à la liste rouge des espèces menacées. Le panda en est sorti, mais reste vulnérable.

CONSERVATION 23 928 espèces végétales et animales menacées d'extinction sur 82 954 étudiées : voici les derniers chiffres de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) publiés dans son rapport quadriennal.
L'organisme tire la sonnette d'alarme sur la situation des gorilles de l'Est, qui sont désormais moins de 5000 à peupler les montagnes du Rwanda et de la République démocratique du Congo. Les céphalophes, des antilopes des forêts africaines, voient également leurs effectifs s'effondrer. De même pour les zèbres de plaines. Bonne nouvelle en revanche pour le panda. Les efforts de restauration des forêts de bambous du centre de la Chine ont porté leurs fruits. L'espèce n'est plus que « vulnérable ». L'UICN s'est donné pour objectif d'atteindre les 160 000 espèces évaluées d'ici à son prochain rapport en 2020. Ce qui ne représente malgré tout qu'un peu moins de 10 % des 1,7 million d'espèces décrites par la science... **L. C.**

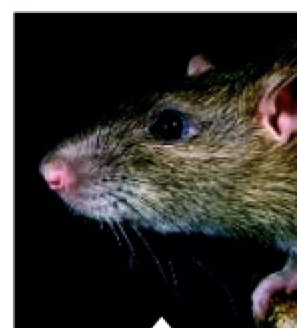




▲ **Les gorilles de l'Est** sont réduits à moins de 5000 individus. **Le panda** voit, lui, sa population remonter. ▶

Le rat possède un compteur de vitesse

ÉTHOLOGIE Pour évaluer leur vitesse de déplacement, les rats utilisent trois longs poils, situés sous leur mâchoire inférieure, qui sont en contact permanent avec le sol. Leur rôle a été démontré par des chercheurs allemands de l'université de Tübingen. En stimulant les nerfs de ces vibrisses chez des rats en pleine course, ils ont réussi à les faire ralentir ou accélérer. **P. K.**



Grâce aux trois poils situés sous la mâchoire, le rat évalue sa vitesse.

RETOUR SUR...

Les clones vieillissent bien

BIOLOGIE Contrairement à Dolly, premier mammifère cloné il y a tout juste 20 ans, les 13 brebis « dupliquées » à partir d'elle ne montrent pas de signes de vieillissement accéléré. Elles ont aujourd'hui entre 7 et 9 ans, l'équivalent de sexagénaires « en âge de brebis ». Aussi les scientifiques de l'université de Nottingham (Royaume-Uni) qui les étudient n'hésitent-ils plus à affirmer que les animaux clonés vivent en bonne santé, comme des animaux non clonés du même âge. **A. S.**

La baleine à bosse, justicière des océans

ÉTHOLOGIE La baleine à bosse adopte parfois des comportements altruistes inexpliqués. L'étude de 115 interactions entre des baleines et des orques a révélé que dans 87 % des cas, les premières s'attaquent aux secondes lorsque celles-ci agressent un autre animal ou sont en train de le manger. La baleine harcèle le prédateur sans en tirer de bénéfices : elle ne gagne en effet rien en retour. **A.-S. T.**





I ORIGINS





« L'UN DES FILMS LES PLUS ORIGINAUX DE L'ANNEE »
PARIS MATCH

« INTELLIGENT, INNOVANT, ATTACHANT »
EMPIRE

« UNE ŒUVRE SENSATIONNELLE »
STUDIO CINÉ LIVE



LE NOUVEAU CHEF-D'ŒUVRE DE SCIENCE-FICTION DE **MIKE CAHILL** (*ANOTHER EARTH*)

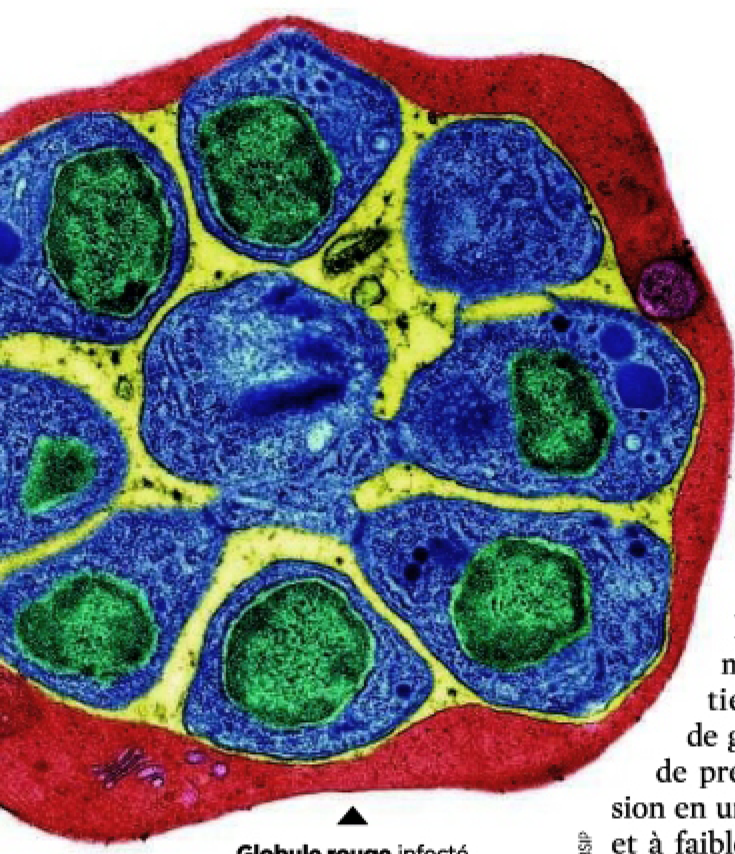
Un grand film d'anticipation qui nous interroge sur les origines de l'être humain, mené par le talentueux **MICHAEL PITT** (*BOARDWALK EMPIRE*) et **ASTRID BERGES-FRISBEY** (*PIRATES DES CARAÏBES*)

EN DVD ET BLU-RAY
PARTOUT ET SUR **WWW.KOBAFILMS.FR**





koba
FILMS



▲ **Globule rouge** infecté par l'agent du paludisme (en vert), vu au microscope électronique.

OMIKRON/BSIP

Un traitement prometteur contre le paludisme

Il s'attaque au parasite à tous les stades de son cycle de réplication.

PARASITOLOGIE C'est une perspective inédite de traitement contre le paludisme : un médicament potentiellement capable de guérir la maladie et de prévenir sa transmission en une seule prise orale et à faible dose. Il s'attaque au *Plasmodium*, le parasite responsable du paludisme, à tous les stades de son cycle de réplication, notamment quand il se multiplie dans les globules rouges et le foie.
Ce médicament a été découvert par des chercheurs du Broad Institute of MIT and Harvard, à Cambridge (États-Unis) parmi une collection d'environ 100 000 molécules. Les chercheurs ont exploité une stratégie de synthèse chimique qui leur a permis de créer une bibliothèque de plusieurs milliers de composés présentant une grande diversité au niveau de leur structure tridimensionnelle. Parmi eux, le BRD7929, un composé dont le mode d'action était jusqu'à présent inconnu. Reste à confirmer son intérêt avec des études toxicologiques plus poussées chez l'animal puis des essais cliniques chez l'homme. **M. G.**

EN BREF

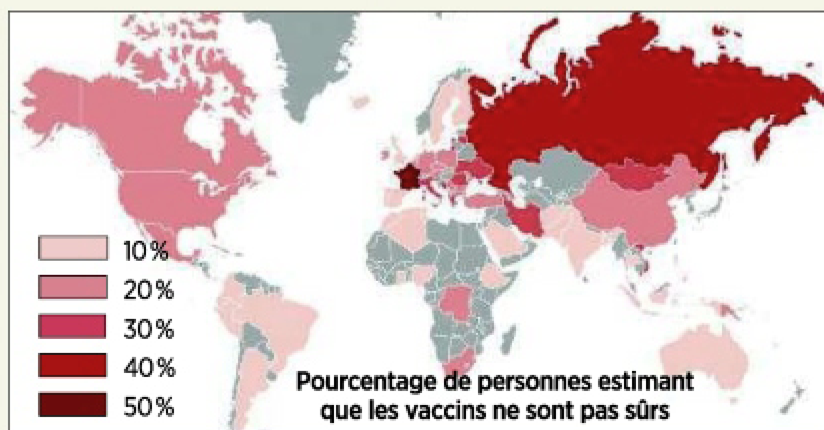
AVERTISSEMENTS INUTILES. Selon l'Inserm, les pictogrammes d'avertissement sur les boîtes de médicament n'ont pas permis de réduire les accidents de la route. **CELLULES MIRACLES.** Un essai clinique à l'hôpital Keck (États-Unis) testant des cellules souches aurait permis à un jeune Américain tétraplégique de retrouver l'usage de ses bras et de ses mains. **CONTRACEPTION D'URGENCE.** Le stérilet serait plus efficace que la pilule du lendemain après un rapport sexuel non protégé, selon une étude des services de santé britanniques.

À VOIR SUR LE NET

Revivez S3 Odéon

MÉDECINE
Le 3 septembre s'est déroulé le colloque S3 Odéon consacré à la médecine de demain, en partenariat avec *Sciences et Avenir* et en présence des lauréats de notre jeu-concours (*S. et A.* n° 833). Vous pouvez en revivre les meilleurs moments, et notamment l'intervention de la spécialiste des interactions homme-machine Laurence Devillers sur le site Internet de *Sciences et Avenir*.
sciav.fr/S3Odeon2016

Les Français ont peur des vaccins



SANTÉ PUBLIQUE Avec plus de 65 000 personnes interrogées dans 67 pays, la plus grande enquête jamais réalisée sur le sujet révèle que la France est la championne du monde de la défiance envers les vaccins ! 41 % des Français estiment que ceux-ci ne sont pas sûrs. Une crainte totalement infondée. C'est le Bangladesh qui ferme la marche avec 0,2 % seulement d'avis négatifs. **L. L.**

SOURCE : HEIDI J. LARSON, LONDON SCHOOL OF HYGIENE & TROPICAL MEDICINE, ROYAUME-UNI.

J. YOU (SCIENCE), HEIDI LARSON ET AL.

2,6 milliards

Le nombre de personnes exposées potentiellement au virus Zika

ÉPIDÉMIOLOGIE Après avoir croisé un très grand nombre de paramètres tels que les conditions climatiques, la prolifération des moustiques vecteurs, les infrastructures sanitaires et le réseau de transports mondial, des chercheurs canadiens ont estimé qu'au moins un tiers de l'humanité vit dans une zone où le virus pourrait se transmettre. **N. C.**

SOURCE : ISAACH BOGOCH, UNIVERSITÉ DE TORONTO, CANADA.

Inserm

cité des sciences & de l'industrie — un lieu universcience

santé en questions

#ConfSanT

Suivez le LT et posez vos questions @InsermLive @indesciences

— UNE CONFÉRENCE CITOYENNE —

organisée par l'Inserm et Universcience

Un duplex entre l'auditorium de la Cité des Sciences et de l'industrie à Paris et le Pavillon des Sciences de Montbéliard

Jeudi 13 octobre de 19h à 20h30

- **Alain Fischer,** médecin, directeur d'unité de recherche Inserm à l'hôpital Necker-Enfants malades et à l'Institut hospitalo-universitaire Imagine et professeur au Collège de France
- **Mélanie Gallant-Dewavrin,** directrice de l'association HTAP France
- **Philippe Georgel,** professeur en virologie, chercheur à l'Inserm au laboratoire d'immuno-rhumatologie moléculaire, spécialiste de l'immunité.
- **Annick Guimezanes,** immunologiste, chercheure émérite de l'Inserm
- **Sandrine Hurel,** femme politique, ancienne députée en charge de la mission sur la politique vaccinale



Vaccins : pourquoi font-ils peur ?

De plus en plus de Français sont réfractaires aux vaccins, sans doute par manque d'informations et méconnaissance des effets secondaires. Qu'en est-il réellement ? Quel est le mode d'action de ces médicaments pas comme les autres ? Quel est l'enjeu collectif de la vaccination ? Quel avenir pour le vaccin ?

Débat animé par Eli Flory, journaliste à **La Recherche.**

Entrée gratuite

Pour en savoir plus : **www.inserm.fr**
www.cite-sciences.fr/citedelasante

NUMERICA — La Recherche — Sciences et Avenir — Cerveau & Psycho — Pour la Science — pourquoi docteur — MAIRIE DE PARIS — casden

Le baclofène prouve son efficacité contre l'alcoolisme

Une étude annonce plus de 56 % de réussite dans le sevrage grâce à la prise de ce décontractant musculaire.

ADDICTOLOGIE On les attendait de pied ferme : les résultats de deux études françaises sur l'efficacité du baclofène comme moyen de sevrage ont enfin été publiés. L'essai Bacloville coordonné par le Pr Philippe Jaury (université Paris-Descartes) annonce plus de 56 % de réussite dans le sevrage — du jamais vu en alcoologie. Mais le second, Alpadir, mené par le Pr Michel Reynaud (hôpital Paul-Brousse, Villejuif, Val-de-Marne) conclut à l'inverse que la molécule n'a qu'un effet modeste sur la baisse de la consommation.



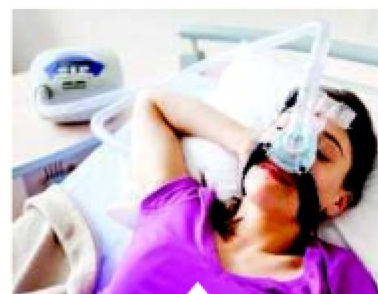
VOISIN/PHANIE

Les doses doivent être suffisamment élevées pour que la molécule soit efficace.

Comment expliquer cette contradiction? Probablement *« un problème de doses »*, analyse Renaud de Beaurepaire, psychiatre à l'hôpital Paul-Guiraud de Villejuif (et prescripteur de la molécule). En effet, la dose moyenne dans l'étude Bacloville était bien supérieure (et plus proche de celle avancée empiriquement par les associations de malades) que celle autorisée par l'étude Alpadir. Une autre étude de l'Assurance maladie sur les effets indésirables du baclofène devrait livrer ses conclusions d'ici à la fin de cette année. **H. R.**

Contre les apnées, le masque doit être porté longtemps

CARDIOLOGIE Dormir avec un masque facial trois heures par nuit en raison d'une apnée du sommeil ne réduit pas le risque cardiaque. C'est la décevante conclusion de la plus importante étude menée à ce jour. Conduite sur près de 2700 personnes pendant trois ans et demi, cette étude australienne n'a pas vu de réduction de la mortalité cardio-vasculaire dans le groupe traité. Selon les chercheurs, le masque doit être porté au moins quatre heures pour être efficace. **S. R.-M.**



BURGER/PHANIE

Quatre heures de port au moins sont nécessaires chaque nuit.

La protéine qui rend les mâles plus forts

PHYSIOLOGIE Si les hommes ont, en moyenne, des muscles plus gros que les femmes, c'est à cause d'une protéine d'origine virale, d'après une étude dirigée par Thierry Heidmann, de l'Institut Gustave-Roussy, à Villejuif. La syncitine B facilite le processus de fusion cellulaire à l'origine des fibres musculaires. Quand on inactive son gène chez la souris, les mâles ne sont pas plus gros que les femelles. **P. K.**



PHOTO12/AFP

◀ **La production de muscles** chez l'homme est sous le contrôle d'un gène viral.

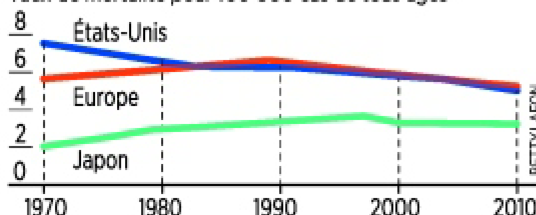
30 min Le temps de lecture quotidien pour vivre plus longtemps

LONGÉVITÉ Lire plus de 3 h 30 par semaine pourrait permettre de vivre jusqu'à deux ans de plus. La lecture de livres permet en effet de développer l'empathie ou l'esprit critique, qui sont des facteurs de longévité. La lecture de magazines serait, elle, moins bénéfique. **N. C.**

SOURCE : BECCA LEVY, YALE SCHOOL OF PUBLIC HEALTH, ÉTATS-UNIS.

La mortalité par cancer de l'ovaire baisse

Évolution de la mortalité par cancer de l'ovaire aux États-Unis, en Europe et au Japon



BETTY LAFON

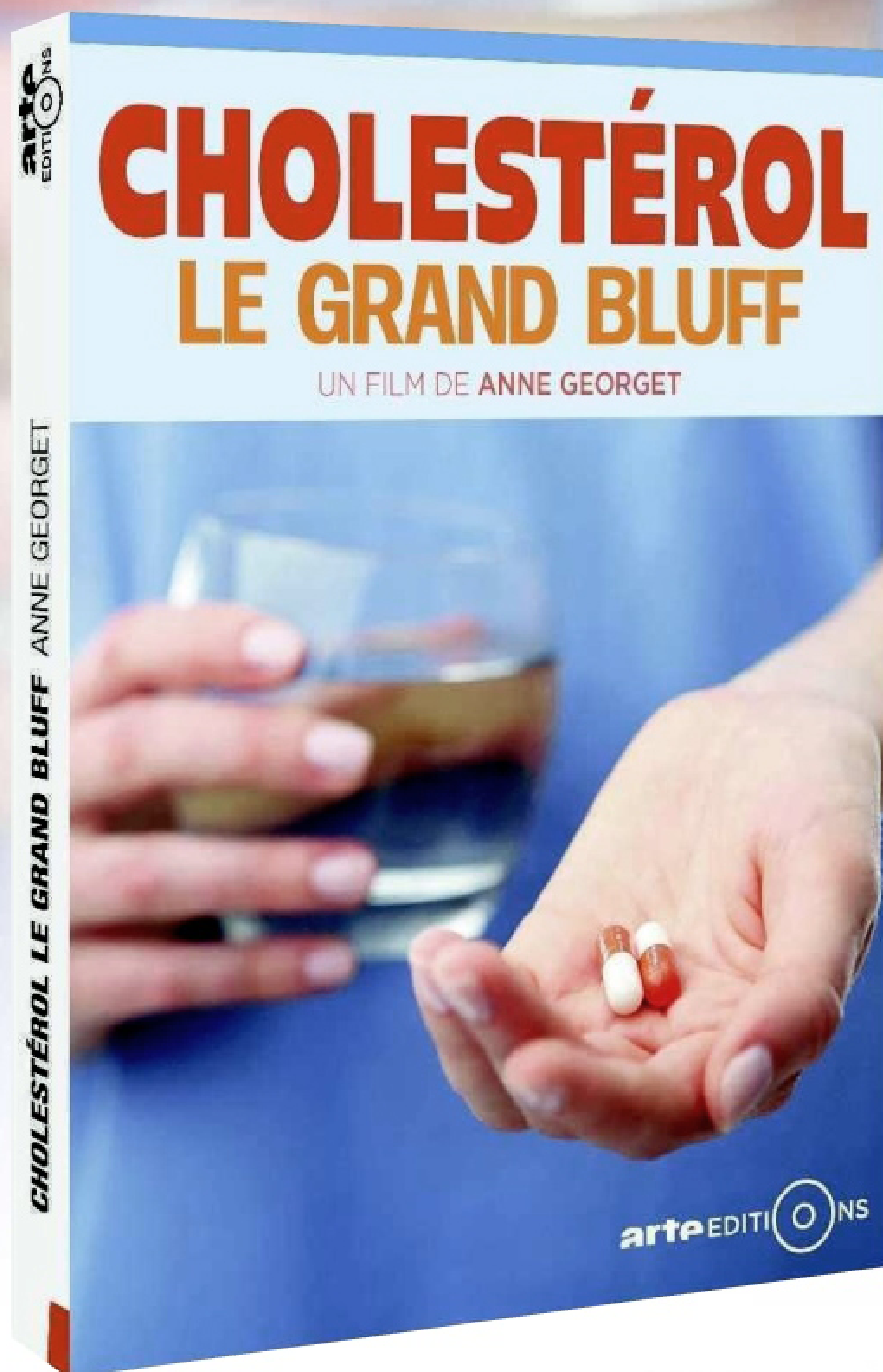
La tendance est à la baisse en Europe depuis les années 1990.

ONCOLOGIE En dix ans, la mortalité par cancer de l'ovaire a baissé de 10 % en moyenne en Europe. Le recul est plus élevé chez les femmes jeunes et dans les pays du Nord. Cette tendance, observée aussi en Amérique du Nord et au Japon, coïncide avec l'usage de la pilule contraceptive, qui aurait donc un effet protecteur. **P. K.**

SOURCE : M. MALVEZZI, ISTITUTO DI RICERCHE FARMACOLOGICHE MARIO NEGRI, MILAN, ITALIE.

Depuis plus d'un demi-siècle, le cholestérol est désigné comme principal responsable des maladies cardio-vasculaires et des AVC.

ET SI LE CHOLESTÉROL ÉTAIT INNOCENT ?



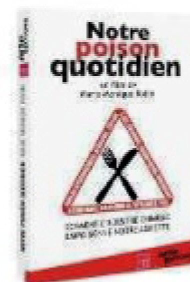
SCIENCES ET AVENIR l'express

Un film de Anne Georget

TOUJOURS DISPONIBLES DANS LA COLLECTION « GRANDES ENQUETES»







DVD et VOD en vente partout et sur www.arteboutique
Film diffusé en octobre sur ARTE

arte EDITIONS

Les voitures autonomes arrivent en ville

Des taxis et des navettes automatiques sont entrés en service... avec des chauffeurs de secours.

TRANSPORTS Les jours des modèles présentés au Mondial de l'automobile (du 1er au 16 octobre à Paris) sont peut-être comptés, car depuis cet été, les voitures autonomes commencent à rouler en ville un peu partout dans le monde.
Fin août, la start-up américaine nuTonomy a lancé le premier service au monde de taxi sans pilote à Singapour avec six véhicules en circulation. Pour l'heure, un ingénieur de la start-up est tout de même au volant pour reprendre le contrôle en cas de problème. Quelques jours plus tard, Uber a lancé les essais d'un service comparable à Pittsburgh (États-Unis), avec une douzaine de voitures autonomes... et également un chauffeur de secours. En septembre, c'était le tour de navettes électriques autonomes conçues par deux sociétés françaises : EasyMile à Dubai et Navya à Lyon. Ce type d'expériences peut en effet être mené en France grâce à un décret qui autorise la circulation de ces véhicules. **O. H.**



LAURENT CIPRIANI/AP/SIPA

Des navettes électriques autonomes circulent à Lyon depuis début septembre.

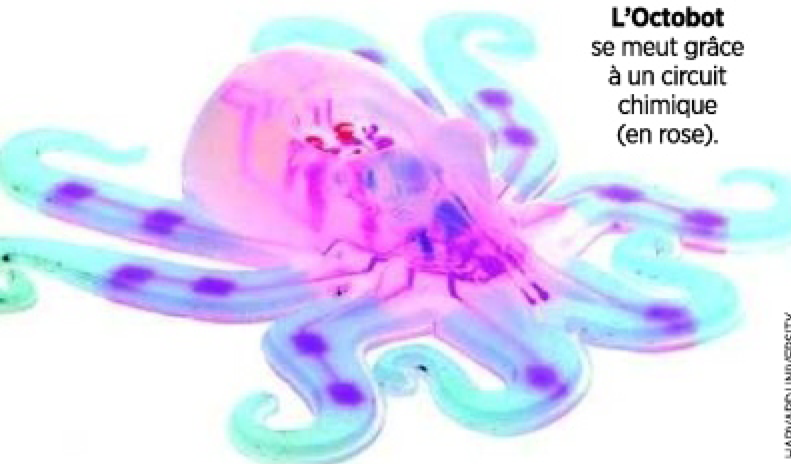
PAROLES

« En Occident, nous avons eu des esclaves pendant des siècles. Je pense qu'on a cette attitude de colon vis-à-vis des machines, sur lesquelles on transfère nos névroses »

Alain Damasio, écrivain de science-fiction à propos du lancement d'Alexa, l'assistant virtuel d'Amazon. **sciav.fr/836damasio**

La pieuvre inspire la robotique

BIONIQUE **Ce « robot mou » effectue des mouvements sans l'aide d'engrenages ni de vérins. Mis au point à l'université Harvard (États-Unis), il s'inspire de la pieuvre, et est imprimé en 3D avec un matériau élastique (du silicone). Dans la tête, deux réservoirs de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Lorsque le composé entre en contact avec du platine, une réaction produit de l'oxygène qui déforme les bras, et les fait bouger. E. L.**


HARVARD UNIVERSITY

L'Octobot se meut grâce à un circuit chimique (en rose).

-2 °C

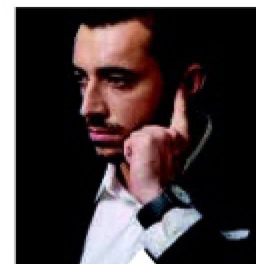
La baisse de la température corporelle avec un nouveau tissu

MATÉRIAUX **Des chercheurs américains ont mis au point un tissu qui permettrait de refroidir le corps. Le gain serait de 2 °C par rapport à un vêtement en coton. Il évacue la sueur tout en laissant s'échapper les radiations infrarouges émises par l'organisme, qui comptent pour environ la moitié de la chaleur corporelle. M. N.**

SOURCE : PO-CHUN HSU, STANFORD UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

Téléphoner avec son doigt

TÉLÉCOMMUNICATIONS Planter son index dans l'oreille pour passer un appel, c'est l'étonnante idée de Sgnl, une start-up coréenne. Un bracelet relié par Bluetooth à un smartphone transmet le son du correspondant à la main, sous forme de vibrations. L'utilisateur répond oralement par un micro intégré dans le bracelet. **O. H.**


INNOMBLE LAB

Le son passe par la main sous forme de vibrations.

La pauvreté prédite par satellite

GÉOGRAPHIE Un algorithme repère avec précision dans les images satellite les zones où l'on vit avec moins de deux dollars par jour. Créé par l'université Stanford (Californie), il trie parmi les millions de clichés les zones éclairées, habitées, déforestées, cultivées, etc., et se focalise sur des indicateurs comme l'état des routes, la proximité des points d'eau et des marchés urbains ou les surfaces agricoles pour faire son analyse. **R. M.**


D. LINCOT

QUESTIONS À

Daniel Lincot

Directeur de l'Institut de recherche et développement sur l'énergie photovoltaïque (Irdep)

L'héritage de Solar Impulse

L'avion solaire Solar Impulse 2 a réalisé l'exploit de boucler un tour du monde en 23 jours de vol : qu'en retenez-vous ?
Les pilotes suisses Bertrand Piccard et André Borschberg ont démontré que le solaire peut être une technologie ultralégère, et qu'elle peut servir à faire voler un engin jour et nuit, sans devoir aller jusque dans l'espace. De quoi faire taire les critiques sur le photovoltaïque et le stockage de son énergie.

Même si l'avion fut cloué au sol plusieurs fois ?
Face aux difficultés, beaucoup auraient abandonné le projet or, là, l'équipage a eu le courage de s'arrêter et de retravailler les technologies. Actuellement, une cellule, c'est un module entre deux plaques de verre. Solar Impulse a utilisé des cellules beaucoup plus fines et pliables, qui ne gardent que ce qui est nécessaire pour convertir les photons en énergie.

Quelles peuvent être alors les retombées de Solar Impulse ?
Le projet a joué un rôle d'accélérateur et a donné de la visibilité aux recherches sur le photovoltaïque. Il y a déjà des retombées industrielles avec le projet Aquila de drone solaire de Facebook, ou le drone solaire Zéphyr d'Airbus Defense&Space. Le projet crédibilise aussi la propulsion électrique pour les avions du futur comme avec Airbus.

Propos recueillis par A. D.

À VOIR SUR LE NET

Une intelligence artificielle réalise une bande-annonce

INFORMATIQUE **Après ses recherches sur les traitements du cancer, Watson, le superordinateur d'IBM se lance dans le cinéma. Il vient de « réaliser » la bande-annonce de *Morgan*, le prochain film de science-fiction de la Century Fox. Le montage est certes un peu décousu mais l'opération n'a duré que 24 h alors qu'il faut compter un mois pour un tel travail fait par des humains. O. H.**

sciav.fr/836watson

Des bactéries embarquées dans un drone


IGEM IONIS TEAM

Le drone biotechnologique (vue d'artiste).

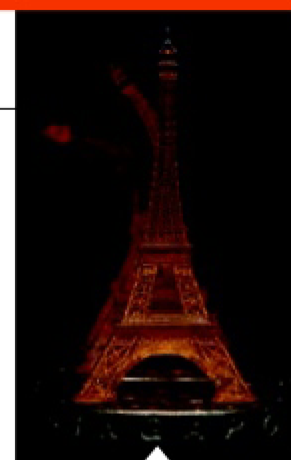
BIOTECHNOLOGIE Un groupe d'étudiants français vient de lancer Quantifly, un projet de mesure de la pollution urbaine avec un drone qui embarque des bactéries. Celles-ci sont génétiquement modifiées pour devenir luminescentes en présence de certains polluants atmosphériques, comme le toluène. Et cette luminescence peut être directement corrélée à la concentration en polluants. **O. H.**


TAC

L'homme qui résiste aux accidents

BIONIQUE **Voici Graham, imaginé par l'artiste australienne Patricia Piccinini avec des scientifiques pour une campagne de sécurité routière. Il présage ce que deviendrait l'homme si l'évolution tendait à sélectionner un corps capable de résister aux forces impliquées dans un accident de voiture. Son crâne est presque fait comme un casque pour absorber l'énergie d'un impact. Quant au cou, il a tout simplement disparu. L. L.**

Graham ou le corps idéal... pour encaisser les chocs.


QIGE/MIT

Cette mini-tour Eiffel ne craint pas la déformation.

L'impression 3D haute résolution et à mémoire de forme

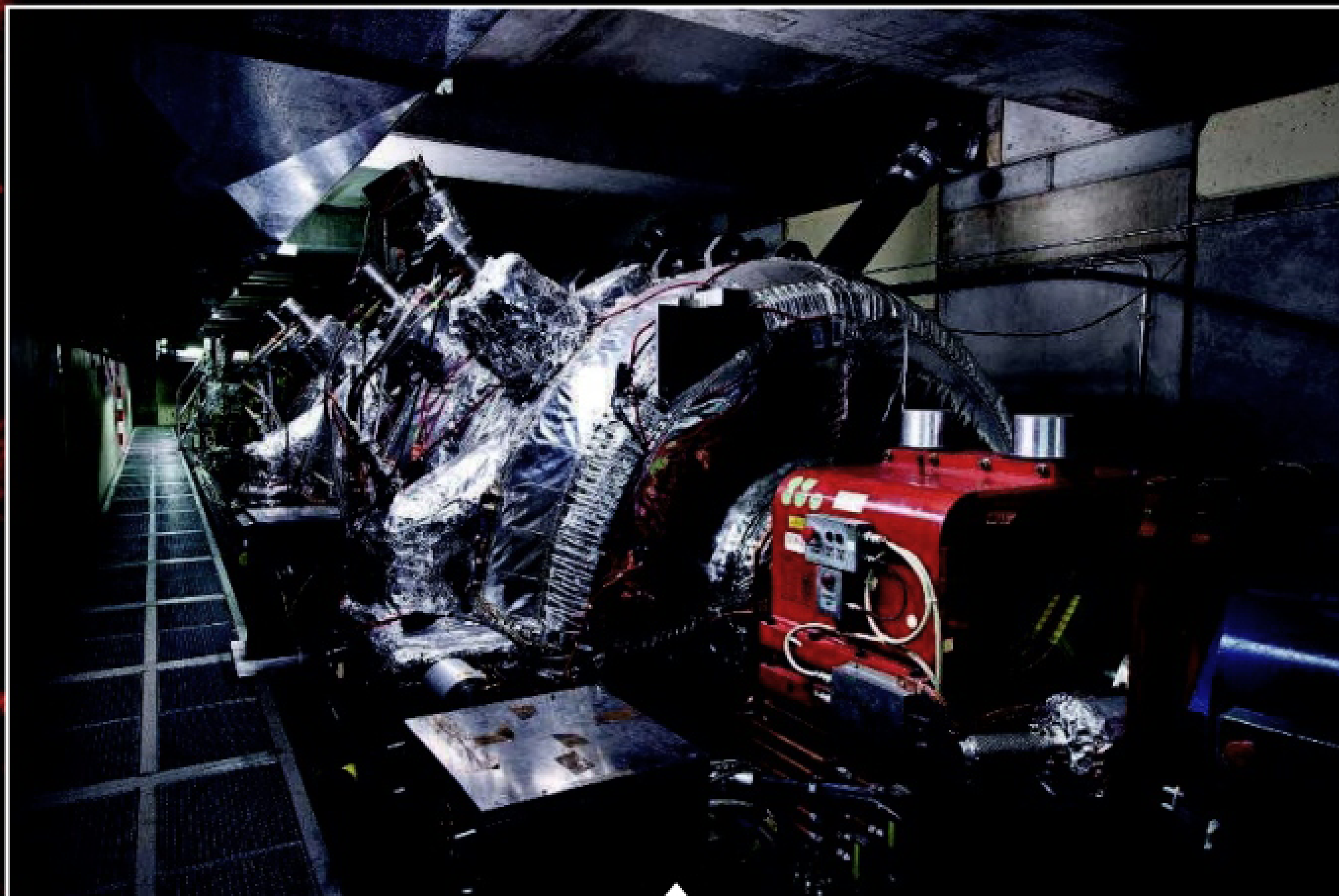
MATÉRIAUX Il peut être tordu, écrasé ou encore étiré dans tous les sens, il retrouvera sa forme initiale pourvu qu'il soit chauffé. Et ce matériau dit à mémoire de forme peut surtout être imprimé en 3D, avec des détails de l'ordre du micromètre quand les techniques classiques d'impression sont cantonnées au millimètre, soit mille fois moins. **O. H.**

Des cartes augmentées pour les aveugles

CARTOGRAPHIE À Toulouse, des chercheurs et une société spécialisée en logiciels libres ont mis au point Accessimap, un éditeur de cartes en relief tactiles pour faciliter l'apprentissage des déficients visuels. Les abréviations en braille sont remplacées par des informations sonores. Une fois imprimée, la carte en relief se superpose à la carte enregistrée sur la table tactile. *« Il est possible d'ajouter plusieurs strates d'informations sur un même point d'intérêt »*, décrit Christophe Jouffrais, responsable du projet. **F. G.**

À la recherche de l'anti-monde

Pour expliquer la formation de l'Univers, les physiciens associent la matière à son double, l'antimatière, dont on ne sait pas ce qu'elle est devenue après les premiers instants du Big Bang. L'expérience Gbar menée au Cern va permettre de mieux cerner cet antimonde.



PHOTOS : ESA/HUBBLE & NASA, JUDY SCHMIDT - CERN

Le décélérateur d'antiprotons du Cern, à Genève, produit des antiprotons de basse énergie pour l'étude de l'antimatière.

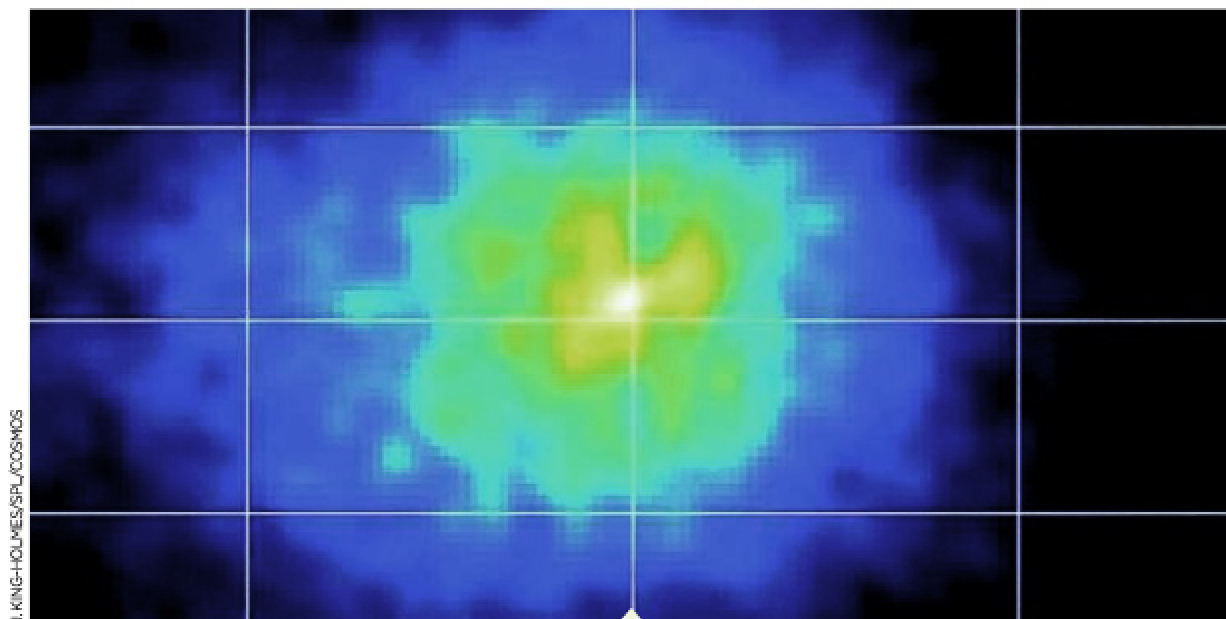
DOSSIER RÉALISÉ PAR
Azar Khalatbari

QUELQUES TRÈS PRÉCIEUX PETITS GRAINS D'ANTIMATIÈRE. C'est tout ce dont disposent les physiciens du Cern, l'organisation européenne pour la recherche nucléaire, à Genève, bien décidés à les soumettre à une série d'expériences qui débutera à la fin de l'année pour en décrypter les moindres frémissements. Tous sont en effet composés d'« antimatière ». Une entité étrange, aujourd'hui introuvable dans l'Univers, mais dont l'existence au cours des premières fractions de seconde du cosmos est pourtant indispensable aux théoriciens. Un humain issu de cet « antimonde » ressemblerait comme deux gouttes d'eau à son jumeau terrien… jusqu'au jour où tous deux seraient amenés à se serrer la main. Là, dans un feu d'artifice de rayons gamma, ils disparaîtraient l'un et l'autre instantanément pour devenir pure énergie ! De leur rencontre resteraient juste… deux paires de chaussures, si toutefois celles-ci ne se sont pas touchées.
Pour tenter de comprendre un tant soit peu le comportement de cette étrange antimatière, les chercheurs du Cern misent donc, entre autres, sur l'expérience Gbar. Elle pourrait en effet apporter une réponse à une lointaine variante de la fameuse « loi de la tartine beurrée », qui veut que les tartines terrestres s'écrasent immanquablement au sol du côté du beurre. L'hy-

PROTON Composant du noyau atomique. Il forme avec le neutron les « nucléons ». Ce ne sont pas des particules élémentaires, car ils sont composés de 3 quarks.

ANTIPROTON Particule d'antimatière correspondant au proton. Elle possède une charge négative tandis que le proton a, lui, une charge positive.

ANTIHYDROGÈNE C'est le plus simple des anti-atomes, tout comme l'hydrogène — un électron autour d'un proton — est l'atome le plus simple et le plus abondant de l'Univers. L'antihydrogègne est formé d'un anti-électron (un positon ou positron) en orbite autour d'un antiproton.


J. KING-HOLMES/SPL/COSMOS

Les régions centrales de notre galaxie (ici observées en rayons gamma) émettent un rayonnement caractéristique de l'énergie émise par l'annihilation d'une paire de particule-antiparticule.

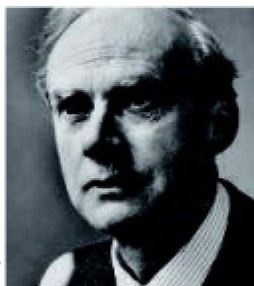
pothèse, à vérifier, est que les « anti-tartines » iraient, elles, directement se coller au plafond. *« Nous sommes habitués à ce que la matière chute dans un champ de gravité, comme une pomme d'un arbre, mais il n'est pas exclu que l'antimatière subisse une sorte d'antigravité et s'envole »*, explique le physicien Gabriel Chardin, directeur adjoint de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS. Si tel était le cas, les théoriciens pourraient explorer de nouvelles voies de compréhension... Et pour réaliser cette expérience, les chercheurs possèdent un trésor : ces quelques grains d'antimatière qu'ils sont parvenus à fabriquer, en très faible quantité, dans les accélérateurs de particules au cours des dernières années.

La quête de l'antimonde débute dans le bouillonnement des premières décennies du XXe siècle lorsque la relativité d'Einstein et la mécanique quantique, toutes deux naissantes, insufflent de nouvelles idées aux physiciens. Ceux-ci connaissent déjà l'électron, identifié à la fin du XIXe siècle par le Britannique Joseph Thomson. Ils cherchent alors à décrire le comportement de cette particule élémentaire, de charge électrique négative, qui compose la matière « ordinaire », constituant tout ce qui nous entoure, ainsi que nous-mêmes. Dans ce but, le Britannique Paul Dirac élabore alors une élégante équation ouvrant sur deux solutions : si la première prédit bien le comportement de l'électron, la seconde décrit une particule inconnue qui se comporterait en tout point comme l'électron, sauf qu'elle serait dotée d'une charge positive. En somme, un « anti-électron ».

Elle est d'abord détectée dans les rayons cosmiques

Paul Dirac propose ainsi en 1931 l'existence du positon, double de l'électron, sur lequel les expérimentateurs mettent la main quelques années plus tard. L'existence de l'antimatière était ainsi confirmée. Les physiciens la détectent d'abord dans les « rayons cosmiques » : ces débris d'atomes, issus de phénomènes astrophysiques comme des explosions d'étoiles, percutent en effet continuellement et avec beaucoup d'énergie la haute atmosphère de la Terre, brisant ainsi en cascades les molécules de l'air. Or ce déchaînement d'énergie produit aussi — outre des noyaux d'atomes, électrons ou protons — les fameux positons.

En parallèle, les chercheurs observent la formation de paires « particule-antiparticule » lors des collisions dans les premiers accélérateurs. Ces machines ne cessant de se perfectionner, elles donnent ensuite accès à des antiparticules plus massives comme une paire de « proton-antiproton » qui nécessite pour être fabriquée une énergie des milliers de fois plus élevée que pour obtenir l'électron et le positon.

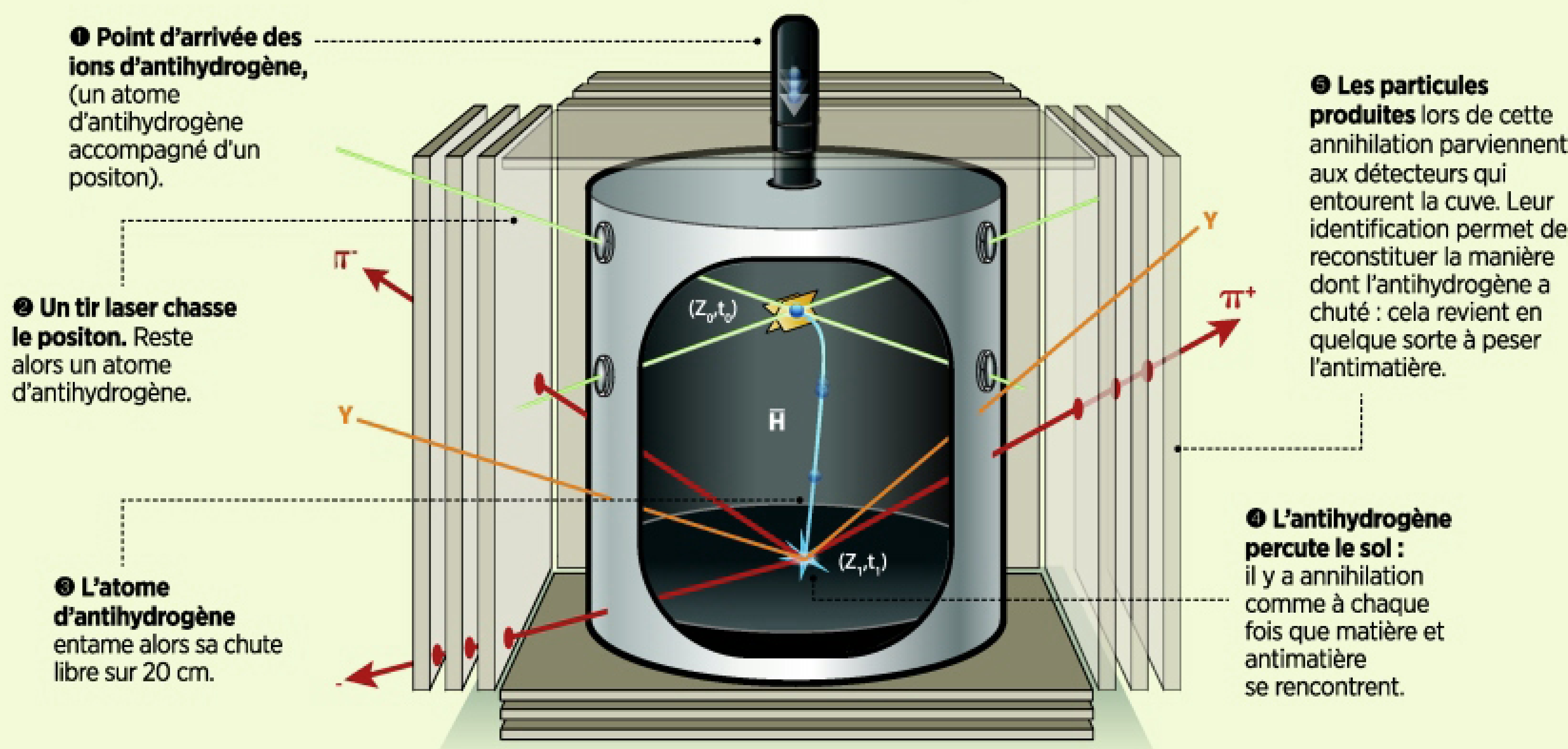

SPL/COSMOS

« Ce résultat est trop beau pour être faux : il est plus important d'avoir la beauté dans les équations que de les voir confirmées par l'expérience »

Paul Dirac, à propos de ses travaux sur l'antimatière (cité par Scientific American, 1963)

EXPÉRIENCE

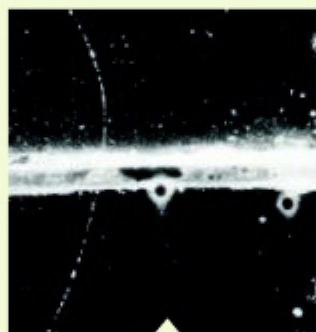
Gbar va traquer le comportement de l'antihydrogène



CEA IRFU DESIGN IDÉES FRAÎCHES

Pour entreprendre des expériences sur l'antimatière, il faut ruser. L'antihydrogène tout comme l'hydrogène sont des atomes neutres, difficiles à manipuler. Au contraire d'une particule dotée d'une charge électrique qui, elle se met d'emblée en mouvement dans un champ électromagnétique. L'astuce ici, pour Gbar, est de fabriquer d'abord des ions antihydrogène, c'est-à-dire un atome d'antihydrogène affublé d'un positon. Ce dernier porte une charge positive, là où celle de l'électron est négative. L'ion antihydrogène peut être ainsi facilement acheminé à l'intérieur de la cuve ❶. Puis, un faisceau laser ❷ vient ôter le positon superflu, l'antihydrogène se retrouve seul dans la cuve. Sa chute peut commencer ❸. Lorsqu'il percute le plancher ❹, il s'annihile en créant de nouvelles particules. La cuve est entourée de détecteurs capables d'identifier les particules résultantes et ainsi de reconstituer la chute de l'antihydrogène. Rien ne présage qu'elle soit similaire à celle de l'atome d'hydrogène ❺. La moindre différence de comportement — une déviation de 1 % par exemple — permet de valider des hypothèses sur la nature de l'antimatière.

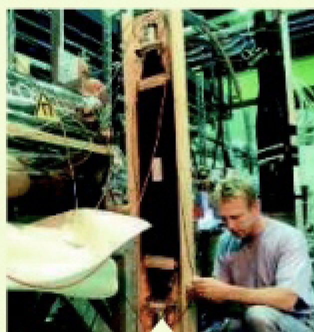
La quête récente des antiparticules


SPL/COSMOS

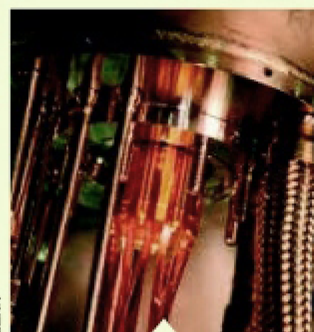
1932
Découverte
Un an après sa prédiction théorique par Paul Dirac, Carl Anderson observe le positon (anti-électron).


SPL/COSMOS

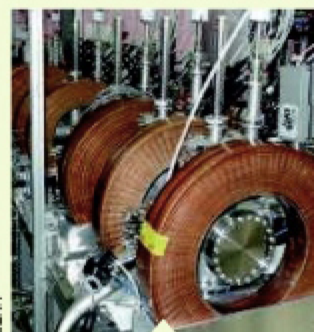
1995
Lear
Neuf atomes d'antihydrogène sont isolés pour la première fois dans l'anneau du Lear, au Cern.


CERN

2002
Athena
Cette expérience parvient à produire 50 000 atomes d'antihydrogène de basse énergie.


CERN

2011
Alpha
Les atomes d'antihydrogène sont stabilisés pendant plus de 16 minutes.


CERN

2016
Gbar
L'antimatière chute-t-elle comme la matière ? Gbar va tenter d'y répondre.

THÉORIE

L'autre hypothèse : la particule de Majorana

En 1937, le physicien italien Ettore Majorana formule une théorie dans laquelle il avance l'idée que les particules de charge nulle telles que les neutrinos pourraient être leurs propres antiparticules.

L'énigme de l'antimatière pourrait voir sa réponse surgir des montagnes situées à la frontière franco-italienne. Là sous 1700 mètres de roches, le Laboratoire souterrain de Modane (LSM) est une oasis préservée des particules invisibles bombardant sans cesse la surface de la Terre et traversant notre corps chaque seconde. Toutes sont issues du rayonnement cosmique ou de la radioactivité naturelle des roches. *« Au LSM, le taux de muons, ces particules issues du rayonnement cosmique, est deux millions de fois plus faible qu'en surface »*, précise son directeur, Fabrice Piquemal, physicien au CNRS. Ce qui permet aux chercheurs d'être à l'affût d'un signal très ténu qui serait lié à un phénomène naturel excessivement rare : la « double désintégration bêta sans émission de neutrinos ». Un phénomène au nom prédestiné pour briller dans les dîners mondains décrit par le théoricien italien Ettore Majorana* en 1937.


BIANCHETTI/LEEMAGE

Né en 1906, Ettore Majorana a mystérieusement disparu à 32 ans.

Les désintégrations radioactives « simples » surviennent fréquemment dans la nature : les noyaux atomiques se délestent en effet spontanément d'une particule (électron, photon, neutron...) pour gagner en stabilité. Ainsi, un neutron peut se transformer en proton au cours d'une désintégration bêta — à l'œuvre dans le Soleil par exemple — et l'opération produit un électron et un antineutrino. Très rarement, certains noyaux peuvent subir deux désintégrations bêta à la fois, ce qui aboutit en principe à l'émission de deux antineutrinos. Mais Ettore Majorana a émis l'hypothèse que celle-ci pourrait parfois n'émettre... aucun antineutrino. *« C'est ce phénomène rare que nous espérons observer »*, poursuit Fabrice Piquemal. Une observation qui constituerait un séisme en physique, digne d'un prix Nobel ! Car cela signifierait que les deux antineutrinos se sont mutuellement annihilés. Une opération théoriquement impossible... à moins que le neutrino soit son propre antineutrino, nommé « particule de Majorana ». Ce qui résoudrait la question de savoir comment la matière s'est créée au tout début de l'Univers. Il suffirait en effet de supposer qu'une petite quantité de ces particules de Majorana ait échappé à l'annihilation pour former par la suite les particules de matière. Reste à vérifier cette hypothèse. Mais cette double désintégration bêta sans émission de neutrinos devant survenir... une fois en un million de milliards de milliards d'années (soit moins d'une fois tous les 10^{24} ans), les physiciens ont une astuce pour ne pas avoir à patienter si longtemps. En prenant un très grand nombre d'atomes, quelques-unes de ces raretés ont statistiquement plus de chance d'avoir lieu au cours d'une année. C'est ce que fera l'expérience Super-nemo, actuellement en montage, ainsi que neuf autres expériences en cours à travers le monde.


GILLES BASSIGNAC/DIVERGENCE

Au LSM de Modane, le détecteur Nemo 3 (bientôt remplacé par Supernemo) teste l'hypothèse prédite par Ettore Majorana sur les neutrinos.

* Lire à ce propos *En attendant Majorana*, d'Étienne Klein (Flammarion).

Un exploit déterminant a alors lieu au Laboratoire national Brookhaven (États-Unis), au tout début des années 1970 : les scientifiques parviennent à maintenir ensemble des antiparticules pour former des noyaux d'« antideutérium » et d'« antitritium » : des espèces inédites qui n'existent pas dans l'Univers que nous connaissons. Mais celles-ci sont encore des antinoyaux et non des anti-atomes pour la construction desquels il faudra franchir encore une étape : maintenir un anti-électron autour d'un antinoyau. Chose faite en 1995 ! Le premier atome d'antihydrogène surgit alors au Cern où les chercheurs parviennent même à en fabriquer neuf pendant 40 milliardièmes de seconde.

Des astuces technologiques pour gagner en longévité

Une réussite époustouflante qui ne laisse toutefois pas le temps d'entreprendre des expériences, quand on sait qu'un gramme de carbone ordinaire, l'un des éléments les plus abondants sur Terre, contient à lui seul 50 000 milliards de milliards d'atomes. Sans compter que le plus difficile est de conserver ces anti-atomes. En effet, dès qu'ils rentrent en contact avec la matière — c'est-à-dire avec le récipient même qui les contient —, ils disparaissent sous forme d'énergie. La matière étant partout, il a donc fallu aux chercheurs beaucoup d'imagination pour inventer des méthodes détournées. Et c'est ainsi que, mille astuces technologiques plus tard, les antihydrogènes du Cern ont gagné une longévité exemplaire entre 2002 et 20111 au cours des expériences Athena et Atrap : 1000 secondes. *« Suffisamment cette fois pour mener des expériences »*, explique Yves Sacquin, de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers au CEA (Saclay). Cette réussite a sonné le début d'une nouvelle ère qui démarre tout juste, celle des expériences sur l'antimatière, auxquelles appartient Gbar.

Où est passée l'antimatière ?

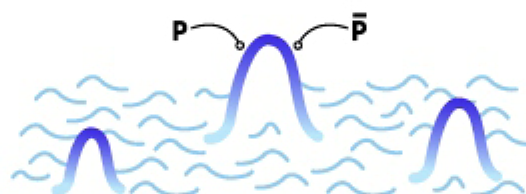
1 Au début était le vide...

Aux premiers instants de l'Univers, le vide contient, selon les physiciens, des particules « virtuelles » qui ne cessent de se matérialiser et de s'annihiler. Leur énergie peut être représentée comme le clapotis des vagues à la surface de la mer.

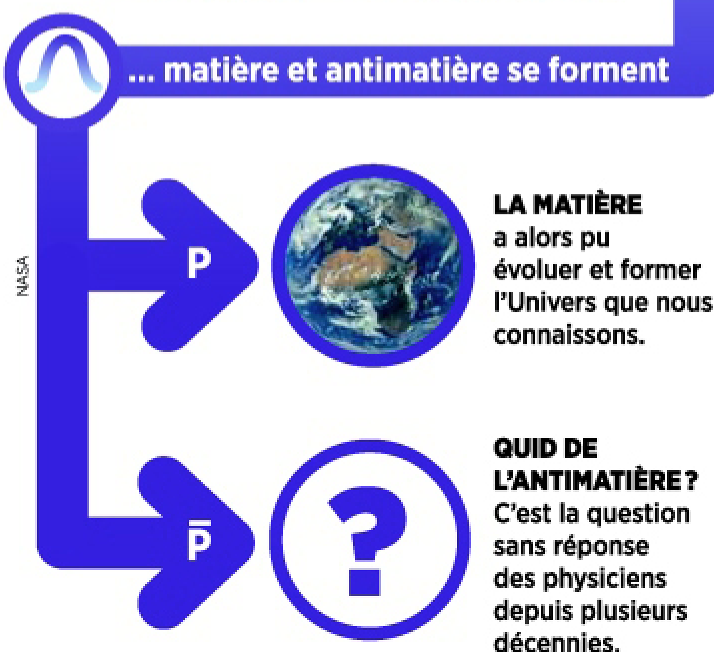


2 ... puis apparaît une fluctuation...

Des fluctuations à l'amplitude plus grande sont apparues et se sont matérialisées en une paire particule (P) et antiparticule ($\bar{P}$).



... matière et antimatière se forment



NASA

LA MATIÈRE a alors pu évoluer et former l'Univers que nous connaissons.

QUID DE L'ANTIMATIÈRE ? C'est la question sans réponse des physiciens depuis plusieurs décennies.

Un anti-atome presque électriquement neutre

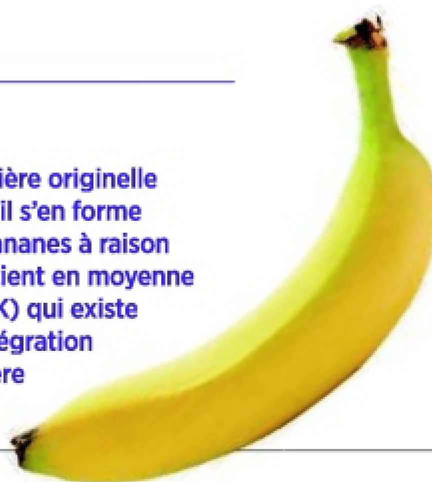
Les physiciens se sont alors demandé si l'anti-atome était électriquement neutre, comme l'est l'atome au sein duquel les charges positives du noyau sont compensées par celles négatives des électrons. Début 2016, l'expérience Alpha a tranché : Oui, l'anti-atome est neutre... à cent millionièmes près. *« Cela montre que la force électromagnétique qui est souvent à l'œuvre dans la vie quotidienne ne fait guère de différence entre matière et antimatière »*, reprend Yves Sacquin. L'étape suivante consiste désormais à vérifier comment se comporte ce double de la matière dans un champ gravitationnel, autrement dit comment il chute et s'écrase, ou non, au sol.

Telle est donc la mission Gbar. Pour cela, les physiciens devront d'abord parvenir à ralentir l'antihydrogène pour espérer effectuer des mesures : dans le monde des particules dont le mouvement reflète l'agitation thermique, cela revient à le refroidir. L'expérience portera donc l'antihydrogène à 10 microkelvins, c'est-à-dire un millionième de degré au-dessus du zéro absolu (-273,15 °C) *(voir l'infographie p. 33)*. *« À cette température, sa vitesse de déplacement est de 50 cm/s*, explique Patrice Perez,

INSOLITE

Du positon dans les bananes

Si les physiciens cherchent — en vain pour l'instant — l'antimatière originelle présente dans les premières fractions de seconde de l'Univers, il s'en forme en très petite quantité sous nos yeux. En particulier dans les bananes à raison d'un positon toutes les... 75 minutes. En effet, une banane contient en moyenne 450 milligrammes de potassium. Or l'isotope du potassium (^{40}K) qui existe dans le potassium naturel à hauteur de 0,01 % subit une désintégration bêta qui libère des positons. En dégustant une banane, on ingère ainsi un peu d'antimatière... sans risque pour la santé !



SHUTTERSTOCK

de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers au CEA. *Les chercheurs observeront alors sa chute lorsqu'il est soumis au champ de gravité de la Terre et des détecteurs repéreront toutes les particules qui en seront issues et la trajectoire décrite par l'anti-atome. Le but étant de pouvoir mesurer une déviation de moins de 1 % par rapport à une gravitation normale. Mais une surprise n'est pas exclue et il faudra retenir son souffle dès les premiers essais : l'antimatière tombera-t-elle au plancher — comme n'importe quelle matière de notre monde — ou s'élèvera-t-elle vers le plafond ?* »


MARK GARLICK/SPL/COSMOS

À partir d'une phase initiale dense et chaude (vue d'artiste), la matière de l'Univers a formé étoiles et galaxies. L'antimatière aurait-elle pu faire de même ?

Un gaz ténu et froid dans l'espace intergalactique

Les physiciens appellent de tous leurs vœux cette dernière éventualité. Car elle constituerait — enfin ! — une vraie différence de comportement entre matière et antimatière. De quoi bâtir des scénarios pour répondre à la question qui les hantent : où est donc passée l'antimatière ? Car les cosmologistes sont formels : au moment du Big Bang, il s'est créé autant de matière que d'antimatière. Mais puisque ces deux entités s'annihilent — rappelons-nous les jumeaux qui se serrent la main —, pourquoi ne reste-t-il pas un univers presque vide où ne subsisterait que l'énergie née de cette annihilation ? Le physicien soviétique Andrei Sakharov a avancé une hypothèse en 1965 : il suggère qu'une asymétrie serait survenue dans les premières fractions de seconde. La matière se serait retrouvée très très légèrement excédentaire par rapport à l'antimatière : pour un milliard de particules d'antimatière, il se serait créé un milliard et une particules de matière. « *Les modèles cosmologiques envisagent plusieurs époques pour dater ce moment : il se peut qu'il corresponde au moment où la température frôlait mille milliards de degrés* », précise Gabriel Chardin. Notre monde pourrait donc être issu de cet excès. Mais ce minuscule surplus n'expliquerait pas toute la matière qui nous entoure. Gbar pourrait donc ouvrir de nouvelles perspectives si l'antigravité, cette gravité négative qui propulse l'antimatière vers le haut, était prouvée.

Dans ces conditions, à quoi ressemblerait l'antimonde ? « *Dans notre monde, à chaque fois qu'une quantité de gaz s'isole et s'effondre sous sa propre gravité, une étoile se forme. Rien de tel avec l'antigravité*, suggère Gabriel Chardin. *Ainsi, les "anti-étoiles" ne pouvant pas exister, l'antimatière ne ferait que s'étendre, formant un gaz ténu et froid.* » Où se trouverait ce gaz, source permanente de cette force répulsive ? Dans le modèle développé par Gabriel Chardin, il prendrait place dans l'espace intergalactique sous forme d'antihydrogène et d'antihélium très froids.

Cet antimonde arrangerait bien la cosmologie qui, pour concilier théories et observations, doit aujourd'hui composer avec trois hypothèses difficiles à élucider : l'existence de la matière noire, cette masse invisible qui agit par sa gravité et dont on cherche la trace depuis plus de cinquante ans ; celle de l'énergie sombre, dont l'existence n'a été prédite qu'en 1998 et qui s'apparente à une force mystérieuse dilatant l'espace de plus en plus rapidement ; et enfin l'hypothèse de l'inflation qui suppose que dans les toutes premières fractions de seconde, l'Univers observable a dû gonfler d'un facteur 10^{26}, soit des centaines de millions de milliards de milliards de fois. Or, l'antigravité pourrait totalement ou partiellement résoudre ces trois énigmes...

L'expérience Gbar, juge de paix ultime

En effet, comme l'ont noté Romain Teyssier, de l'université de Zurich (Suisse), Tsvi Piran, de l'Université hébraïque de Jérusalem (Israël), John Dubinski, de l'université de Toronto (Canada), spécialistes de cosmologie computationnelle, un univers doté d'antigravité peut évoluer dans le temps vers l'Univers que nous connaissons à partir de masses emportées par l'antigravité, sans qu'il y ait besoin d'hypothèses supplémentaires pour en assurer les fondements. Un scénario très séduisant. « *Mais rien ne nous autorise à préjuger des résultats de Gbar, l'expérience restant le juge de paix ultime* », conclut prudemment Gabriel Chardin. ■


CNRS PHOTOTHÈQUE

« Nous sommes habitués à ce que la matière chute dans un champ de gravité mais il n'est pas exclu que l'antimatière subisse une sorte d'antigravité et s'envole »

Gabriel Chardin, directeur de l'IN2P3 du CNRS

Un vaisseau avec un moteur à base d'antimatière (vue d'artiste), c'est l'objectif de l'entreprise américaine Hbar Technologies, qui a lancé une campagne de financement de 200 000 dollars pour son étude.

L'antimatière alimente les fantasmes

STEVEN HOWE/HBAR TECHNOLOGIES,LLC

Popularisée par les auteurs de science-fiction, la propulsion par l'antimatière est étudiée comme une solution à long terme par les agences spatiales, la Nasa en tête... Mais la production de cette énergie fabuleuse se heurte à des freins technologiques énormes.

« DONNEZ-MOI 17 GRAMMES D'ANTIHYDROGÈNE, *de la taille d'une tomate cerise, et j'irai vers l'étoile la plus proche en moins de dix ans !* » Telle pourrait être la déclaration du physicien américain Gerald Jackson. L'ancien chercheur du Fermilab de Chicago — l'un des plus puissants accélérateurs de particules au monde — a lancé en mars une campagne de financement participatif pour rassembler la modique somme de 200 000 dollars. Son objectif: commencer l'étude du premier moteur à antimatière qu'il espère opérationnel d'ici à quelques décennies. Et Gerald Jackson, par ailleurs cofondateur de l'entreprise Hbar Technologies LLC, n'est pas un hurluberlu. Il ne fait qu'entériner une demande de la Nasa, l'agence spatiale américaine qui, par l'intermédiaire de son programme Niac (Nasa Innovative Advanced Concepts), a lancé depuis plus d'une décennie (1) un groupe de travail chargé de réfléchir à l'utilisation de l'antimatière pour la propulsion.

10 nanogrammes
Soit 10 milliardièmes de gramme, c'est le poids d'antimatière que le Cern parvient à conserver pendant seize minutes.

Des sources d'inspiration à défaut de carburant

Pour l'heure, la réalisation de ce projet semble hors de portée. En l'état actuel des connaissances, la production d'antimatière n'excéderait pas en effet un milliardième de gramme par an... Et ce même si le Centre européen pour la recherche nucléaire (Cern) par exemple — dont ce n'est pas la vocation — mobilisait tous ses accélérateurs de particules uniquement dans ce but. Les chercheurs devraient donc patienter un milliard d'années pour rassembler un gramme et 17 milliards d'années pour que le projet de Gerald Jackson prenne forme. Et il faut pour l'instant se contenter des 10 nanogrammes — dix milliardièmes de gramme — que l'institution européenne a réussi à conserver pendant 16 minutes.

Si les ingénieurs n'ont pas de carburant, ils ne manquent pas pour autant de sources d'inspiration ! Les auteurs de science-fiction fantasment en effet sur l'antimatière depuis belle lurette. Ainsi, dans la série *Star Trek*, le capitaine James Kirk et son adjoint Spock l'utilisent dans leur vaisseau Enterprise pour voyager à une vitesse supraluminique dans l'espace intergalactique. C'est aussi grâce à elle que les humains parviennent à atteindre Pandora, satellite de la ▶

La Nasa réfléchit depuis plus de dix ans à l'utilisation de l'antimatière pour la propulsion d'engins dans l'espace (vue d'artiste).

NASA

planète Polyphème du système Alpha du Centaure, dans le film *Avatar* de James Cameron. Et son énergie est au cœur d'*Anges et démons*, roman de l'Américain Dan Brown relatant le vol d'antimatière au Cern.

Des problèmes épineux loin d'être résolus

Pour comprendre un tel attrait pour l'antimatière, il suffit de préciser *« qu'un volume d'antimatière renferme le maximum d'énergie autorisée par les lois de la physique,* explique Gabriel Chardin, directeur adjoint de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules. *En effet, l'annihilation d'un proton et d'un antiproton transforme* in fine *l'intégralité de la masse de ces deux particules en énergie, selon la célèbre formule d'Einstein ($E = Mc^2$) qui exprime l'équivalence entre la masse M et l'énergie E, liées par le carré de la vitesse de la lumière (c^2)* ». Résultat : un kilogramme d'un mélange d'hydrogène et d'antihydrogène libère 90 millions de milliards de joules (9×10^{16} joules) ou 25 milliards de KWh, soit environ un vingtième de l'énergie électrique produite en France pendant une année (2). Jamais au cours des autres processus, une quantité de réactif ne se trouve ainsi entièrement transformée en énergie. La fusion nucléaire à l'œuvre au cœur des étoiles, et que l'on cherche à maîtriser dans de grandes machines comme Iter à Cadarache (Bouches-du-Rhône), libère mille fois moins d'énergie. Quant aux réactions de fission, utilisées dans les réacteurs nucléaires qui fonctionnent aujourd'hui, elles en dégagent dix mille fois moins. Pour autant, fabriquer un moteur à antimatière pose encore des problèmes épineux. *« Les ingénieurs utilisent une échelle de maturité technologique, qui s'étend de 1 à 9, le maximum correspondant aux techniques couramment utilisées, par la fusée Ariane 5 par exemple. À l'autre bout de l'échelle figurent des options fondées scientifiquement mais très loin d'être technologiquement matures. C'est là que se trouve le moteur à antimatière »*, précise Roland Lehoucq, physi-



SIPA

« Ces options sont fondées scientifiquement mais loin d'être technologiquement matures. C'est à ce niveau d'avancement que se situe le moteur à antimatière »

Roland Lehoucq, physicien, chercheur au CEA

STRATÉGIE MILITAIRE

Une nouvelle arme fatale ?

La formidable quantité d'énergie que renferme l'antimatière peut-elle servir à l'élaboration d'une arme ? Lorsque les premiers grains d'antimatière ont été isolés en 1995, le Français André Gsponer, alors physicien au Cern (aujourd'hui décédé), avait tiré la sonnette d'alarme avec Jean-Pierre Hurni, de l'université de Genève. Celui qui devait devenir par la suite l'un des fondateurs du Gipri (Institut international de recherche sur la paix de Genève) avait en effet alerté dès 1985 sur l'intérêt que l'US Air Force et son équivalent soviétique portent à l'antimatière. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, leur attention ne se focalise pas sur la fabrication d'un laser à antimatière capable de transformer en pure énergie tout ce qu'il frappe, sans les inconvénients des retombées radioactives : une telle arme reste en effet du domaine de la science-fiction. En revanche, les militaires se concentrent sur des développements plus concrets. Si le Cern parvenait à produire 10^{13} antiprotons par seconde (soit dix mille milliards) — ce qui est loin d'être encore le cas —, l'antimatière pourrait en effet remplacer l'amorce d'une bombe H : les quelques kilos de plutonium utilisés pour obtenir une réaction de fission nucléaire dégageant suffisamment d'énergie pour déclencher la fusion thermonucléaire de la bombe H pourraient alors être remplacés *« par 1 microgramme — un millionième de gramme — d'antihydrogène, et cela sans retombées radioactives dues au plutonium »*, précisaient alors les deux auteurs*. L'antimatière pourrait donc servir à repenser l'arme nucléaire.

* sciav.fr/836antimatiere

cien, chercheur au CEA et par ailleurs chroniqueur pour la revue de science-fiction *Bifrost*.

Pour faire progresser cette technique, ne serait-ce que de quelques barreaux, il faut ainsi surmonter un premier obstacle : l'antimatière n'est pas une « source » d'énergie présente à l'état naturel et dont on peut exploiter les gisements, contrairement aux hydrocarbures ou à l'uranium. Il faut d'abord en fabriquer. Extrêmement onéreux… mais pas impossible puisque la production annuelle d'électricité en France en 2015 correspond à l'énergie théorique pour produire vingt kilos d'antimatière.

Mais il ne suffit pas de produire de l'antimatière pour pouvoir la dépenser au rythme que l'on désire. *« C'est ce rythme qui va déterminer la puissance du moteur. Une grande quantité d'énergie dépensée sur un temps très court fait décoller un engin… mais ensuite plus rien,* reprend Roland Lehoucq. *Il faut donc pouvoir dépenser cette énergie à un rythme plus modéré pour manœuvrer, accélérer et aller ainsi vite et loin. »* Or, en l'état actuel des connaissances, le réservoir se viderait au fur et à mesure qu'il se remplirait car les chercheurs ne savent pas stocker l'antimatière. Imaginons tout de même un tel moteur. Pour propulser un engin, il faut éjecter des particules dans une seule direction afin de créer une poussée en sens inverse de l'éjection. Or, une annihilation matière-antimatière crée, d'une part, des rayons gamma partant dans toutes les directions, et d'autre part, des particules chargées (pions positifs et négatifs) s'échappant dans deux directions opposées avant de se désintégrer en rayons gamma au bout de 0,26 milliardième de seconde. Pas de quoi avancer d'un pouce ! La solution ? Utiliser ces pions pour la propulsion. *« On parvient à modifier la trajectoire d'une particule chargée grâce à un champ magnétique. Dès lors, si l'on parvenait à contrôler l'éjection des pions, on pourrait se déplacer. Mais il serait bien dommage de ne pas utiliser l'énergie des rayons gamma »*, reconnaît le physicien. Certes, mais leur énergie est si grande qu'aucun miroir ne parvient à les réfléchir dans une direction privilégiée. La seule possibilité serait qu'ils viennent heurter un bouclier qui les absorbe et se réchauffe à leur contact. Celui-ci pourrait alors servir de source chaude pour une machine thermique… mais son « design » un peu spécial n'en ferait pas un moteur optimal.

Un choix de société à débattre

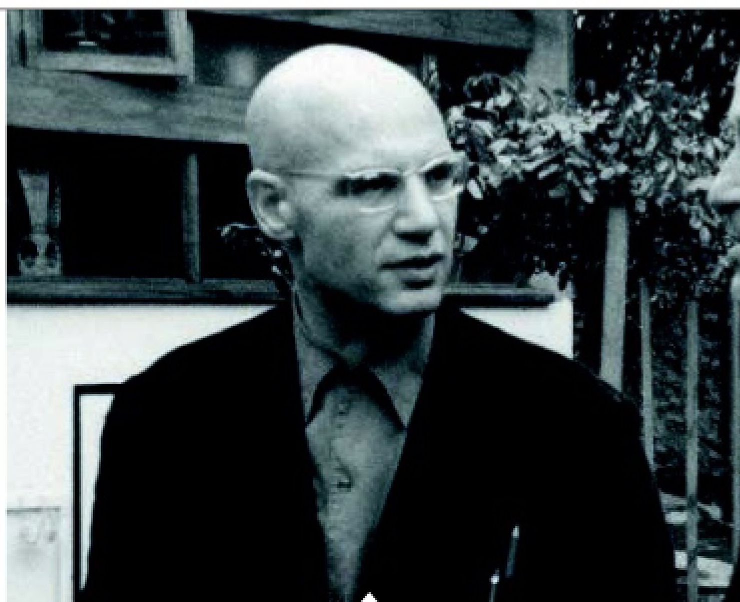
Le moteur à antimatière n'est donc pas pour demain ! Et c'est peut-être une bonne nouvelle. *« Lors de la révolution industrielle où l'humanité est passée de l'utilisation de la force musculaire (homme ou bête) à l'énergie dégagée par la combustion des hydrocarbures (gaz, pétrole ou charbon), ses dépenses énergétiques ont bondi d'un facteur 100 tandis que la population mondiale a été multipliée par dix »*, précise Roland lehoucq. Mais en accédant à une plus grande quantité d'énergie, l'humanité s'est montrée excessivement vorace : elle a dépensé sans compter jusqu'au risque de la pénurie. Le passage à l'ère énergétique de l'antimatière pousserait sans doute l'humanité à dépenser cent fois plus. *« C'est un choix de société dont il faut débattre. Souhaite-t-on aller à la conquête des étoiles à n'importe quel prix ? D'aucuns voient ces autres mondes comme la solution de survie de l'humanité. Je pense au contraire que l'urgent est de préserver le seul dont nous disposons aujourd'hui »*, affirme Roland Lehoucq. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

Livre
▸ *L'Antimatière, la matière qui remonte le temps*, Gabriel Chardin, Éd. Le Pommier, coll. Poche, 192 p.

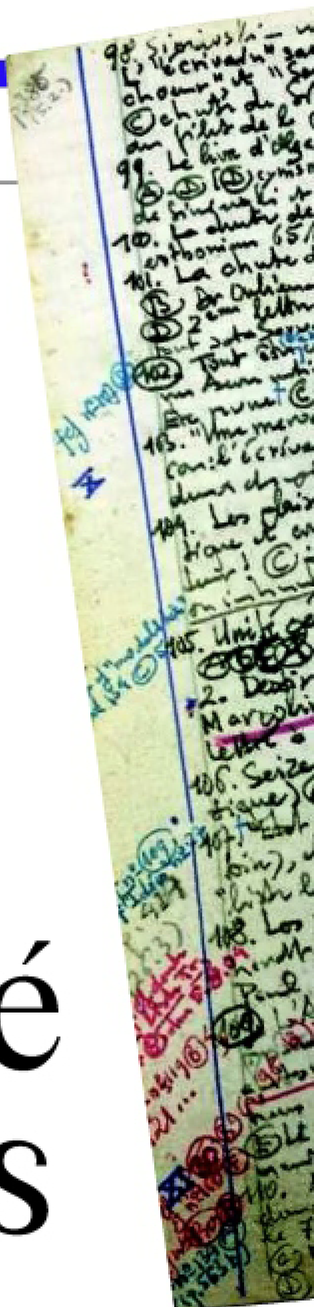
Web
▸ Le site du Cern sur l'antimatière (en français) : sciav.fr/836cern
▸ Une vidéo didactique sur l'antimatière (en anglais) : sciav.fr/836antimat

(1) sciav.fr/836fermilab
(2) La France produit 550 TWh/an, soit 550×10^{12} Wh ou 550 milliards de kWh.



IHES/AFP

Ce titulaire de la médaille Fields (ici dans les années 1960) est considéré comme l'un des plus grands mathématiciens du xxe siècle.



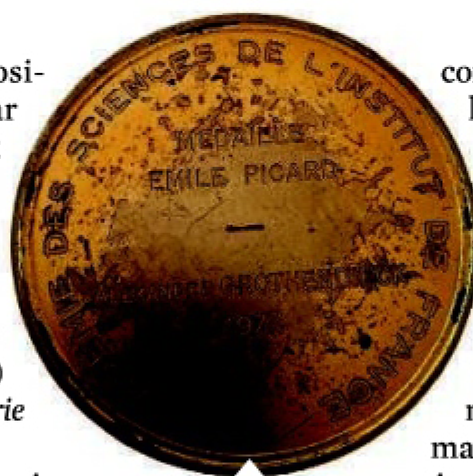
Le legs empoisonné du génie des maths

Alexandre Grothendieck a laissé derrière lui des milliers de pages de concepts mathématiques et de méditations. Deux ans après sa disparition, les chercheurs devraient pouvoir enfin accéder à ces archives inédites.

Par Philippe Douroux

Ces masses de papiers auraient pu disparaître à jamais, oubliées comme Alexandre Grothendieck, leur auteur, aurait souhaité l'être également. Par chance, ces milliers de fiches et feuilles volantes recouvertes d'une petite écriture serrée ont pu être préservées. Le 13 novembre, leur valeur devrait même — enfin ! — être établie comme l'exige la loi pour boucler la succession de cet homme mort reclus à 86 ans, et dont le génie aura bouleversé les mathématiques... et participé à l'émergence de l'écologie radicale. La fin d'un long vide juridique qui devrait permettre à ces documents d'une valeur historique incontestable d'intégrer les collections nationales pour y être décryptés et mis à disposition des chercheurs. Car Alexandre Grothendieck est considéré comme l'un des plus grands mathématiciens du xxe siècle dont le « grand œuvre » est constitué des *Éléments de géométrie algébrique* (EGA) et des *Séminaires de géométrie algébrique* (SGA).

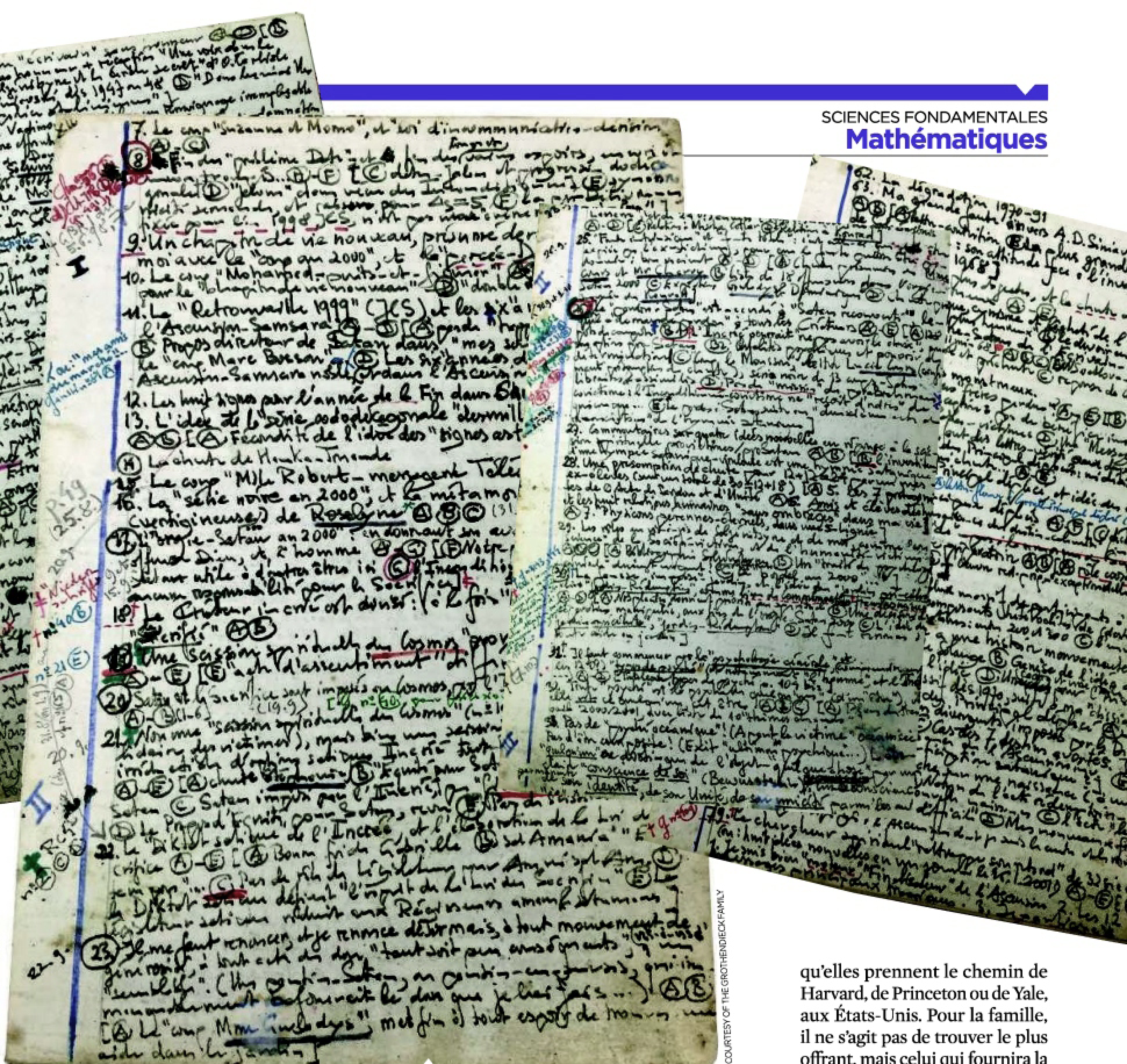
Pendant près de deux décennies, ce titulaire de la médaille Fields (1966) au parcours chaotique, chercheur à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) de Bures-sur-Yvette (Essonne), a en effet tenté de réconcilier l'aptitude à montrer de la géométrie et la capacité à démontrer de l'algèbre. Avant de se mettre brusquement en retrait de la communauté scientifique dans les années 1970 pour se consacrer à l'écologie radicale, puis de se retirer définitivement de la communauté des hommes jusqu'à sa mort en 2014 dans le petit village de Lasserre (Ariège). Il a laissé derrière lui ces milliers de pages de concepts mathématiques et de méditations difficiles à suivre, sa raison vacillant.



La médaille Émile Picard récompense en 1977 Alexandre Grothendieck « *pour son œuvre en géométrie algébrique* ». En 1991, il la confie à son élève Jean Malgoire en lui précisant qu'elle faisait un parfait casse-noix.

Combien valent aujourd'hui ces archives inédites ? Jean-Bernard Gillot, l'expert en manuscrits choisi par la famille Grothendieck, doit donc répondre à cette question. Peut-on espérer qu'un chercheur y déniche un jour l'une des constructions dont ce génie avait le secret ? Personne n'ose se

COURTESY OF THE GROTHENDIECK FAMILY

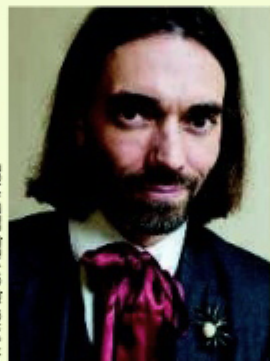

COURTESY OF THE GROTHENDIECK FAMILY

Le mathématicien écrira jusqu'à la fin de sa vie. Petit à petit, le chaos semble s'installer dans son esprit. Il mène un combat contre le diable et l'oubli des victimes de la Shoah. Il s'accuse d'avoir accepté la médaille Fields : *« Ma grande faute... »*, écrit-il notamment au début du troisième feuillet *(ci-dessus)*.

prononcer. Michel Demazure, le premier élève d'Alexandre Grothendieck pense qu'il faudra 50 ans ou un autre Grothendieck. Pour se plonger dans une partie des archives retrouvées à Lasserre et rapatriées depuis à Paris, il faut franchir une lourde porte cochère bleue, située dans une rue de Saint-Germain-des-Prés dont on a promis de ne pas dévoiler le nom. Encore deux portes et l'on entre dans une petite pièce encombrée par cinq malles métalliques bleues, vertes et rouges et une boîte en carton fatiguée. Les archives laissées à Montpellier par Alexandre Grothendieck auraient dû rejoindre celles restées à Lasserre (Ariège), le village où il s'était réfugié au début des années 1990, mais l'université de Montpellier refuse de les restituer à la famille, qu'il s'agisse de mathématiques dont elle se désintéressait jusque-là ou de lettres personnelles. Qui abritera ce trésor scientifique : la BNF, les Archives nationales ou l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) de Bures-sur-Yvette où Grothendieck avait travaillé jusqu'en 1970 ? À moins qu'elles prennent le chemin de Harvard, de Princeton ou de Yale, aux États-Unis. Pour la famille, il ne s'agit pas de trouver le plus offrant, mais celui qui fournira la meilleure garantie pour la conservation et la mise à disposition du public le plus large.

Une œuvre aux angles multiples

Isabelle Le Masne de Chermont, conservatrice à la BNF, et Georges Maltsiniotis, directeur de recherche émérite au CNRS, ont d'ores et déjà pu se pencher quelques heures durant sur les archives de Lasserre pour en vérifier l'intérêt. Pour la première, il ne fait aucun doute que les milliers de pages rédigées depuis le début des années 1950 ▶


P. MATSAS/OPALE/LEEMAGE

INTERVIEW

CÉDRIC VILLANI

MÉDAILLE FIELDS 2010, DIRECTEUR DE L'INSTITUT HENRI-POINCARÉ

Grothendieck a lié d'une nouvelle façon algèbre et géométrie

Que représentait Alexandre Grothendieck pour le jeune étudiant que vous étiez en entrant à l'École normale supérieure?
Je ne connaissais pas Grothendieck alors; c'est seulement au cours de ma première année que j'ai entendu parler de lui. J'ai vite compris qu'il représentait une légende très impressionnante, par son attitude radicale, par la quantité surhumaine de travail qu'il a accomplie, par la nouveauté de ses idées, également par son retrait du monde spectaculaire ; on parlait de lui comme du plus grand mathématicien de la seconde moitié du XXe siècle avec une sorte de dévotion inhabituelle pour évoquer un scientifique. L'IHES, le campus d'Orsay et l'ENS sont sans doute les trois lieux dans lesquels cette légende est la plus présente, plus encore qu'à Montpellier.

Ses mathématiques sont-elles aujourd'hui fructueuses?
Grothendieck a apporté une nouvelle façon de voir les liens entre algèbre et géométrie, un nouvel ordre dans les disciplines mathématiques, un nouveau style et une nouvelle légende inspirante. De grandes contributions, de nouvelles démonstrations, et la base des travaux d'au moins quatre médailles Fields, les Français Pierre Deligne, Laurent Lafforgue, Ngô Bao Châu et le Russe Vladimir Voïevodsky. Avec le Canadien Robert Langlands et l'Américain William Thurston, c'est l'un des grands visionnaires des sciences mathématiques de ces dernières années.

Quel regard portez-vous sur ses archives?
Écrites pour l'essentiel pendant les années où son équilibre mental semblait sérieusement atteint, ces archives n'ont pas été mises en forme et seront, à n'en pas douter, d'une confusion extraordinaire. Des passions mal placées risquent de se déchaîner autour de ces papiers, pour de mauvais motifs, un peu comme la fascination pour les archives alchimiques de Newton. Elles doivent être confiées à un laboratoire de mathématiques qui s'occupera de les lire pour voir s'il y a quelque chose à en tirer. Pendant les années que cela prendra, le mieux serait de ne pas trop en parler. Des rumeurs ont circulé sur leur valorisation financière, mais toute exploitation commerciale, surtout au vu des opinions de Grothendieck, serait obscène. **Propos recueillis par P. D.**

doivent rester en France et rejoindre les fonds scientifiques des instituts Pasteur, Marie-Curie ou du groupe Bourbaki, formé en 1934 pour refonder les mathématiques et dont Alexandre Grothendieck fut un membre incontournable. « *Elles pourront nourrir des travaux d'histoire des sciences, d'histoire des idées, de sociologie, de psychiatrie, d'histoire culturelle d'une époque. C'est de cette multiplication des angles que pourra naître une réelle appréciation de cette œuvre totalement inédite* », écrivait-elle en avril 2015. Car ces archives ne sont pas faites que de calculs mathématiques ! Alexandre Grothendieck y évoque largement son incessant combat contre le « diable », celui-ci lui ayant selon lui retiré toute envie de poursuivre ses recherches, ainsi que ses tentatives désespérées pour sortir de l'oubli les victimes de la Shoah, parmi lesquelles son père, Alexandre Shapiro-Tanaroff. Pour Georges Maltsiniotis, chargé d'évaluer les travaux scientifiques, les premiers cartons consultés représentent bien le prolongement de l'œuvre mathématique : « *Le carton 1 contient un texte intitulé "Géométrie élémentaire schématique" de presque 1100 pages. Il s'agit d'un texte d'algèbre et de géométrie algébrique [...] Le manuscrit des cartons 2 à 4, de presque 3700 pages, intitulé "Structures de la psyché", est constitué de définitions, lemmes, propositions, théorèmes et corollaires. Les structures combinatoires introduites semblent intéressantes* », affirme-t-il, sachant qu'il faudra encore des heures et des heures de lecture pour vraiment en saisir la portée. Quant aux archives de Montpellier, elles permettront sans doute de faire revivre le jeune homme prometteur qui va en quelques années bousculer l'école française de mathématiques.

Une histoire faite de drames et de ruptures

On y trouve notamment une photo prise en 1953 lorsque l'étudiant atypique se formait auprès de Jean Dieudonné et Laurent Schwartz (médaille Fields 1950) dont il allait rapidement être l'égal. Une lettre inédite de Laurent Schwartz datée de 1955 montre d'ailleurs comment les deux mathématiciens chevronnés accueillent cet hurluberlu qui vient tout juste d'obtenir sa licence en passant... par la session de rattrapage ! Car Alexandre Grothendieck a tout pour réussir, sauf la méthode. « *Cher Dieudonné, je n'arrive pas à rétablir la situation de Grothendieck. J'avais bien, comme toi, complété sa démonstration insuffisante, mais le dernier point m'avait échappé... Comme quoi des démonstrations complètes sont indispensables [...] et cet animal de Grothendieck ne les*

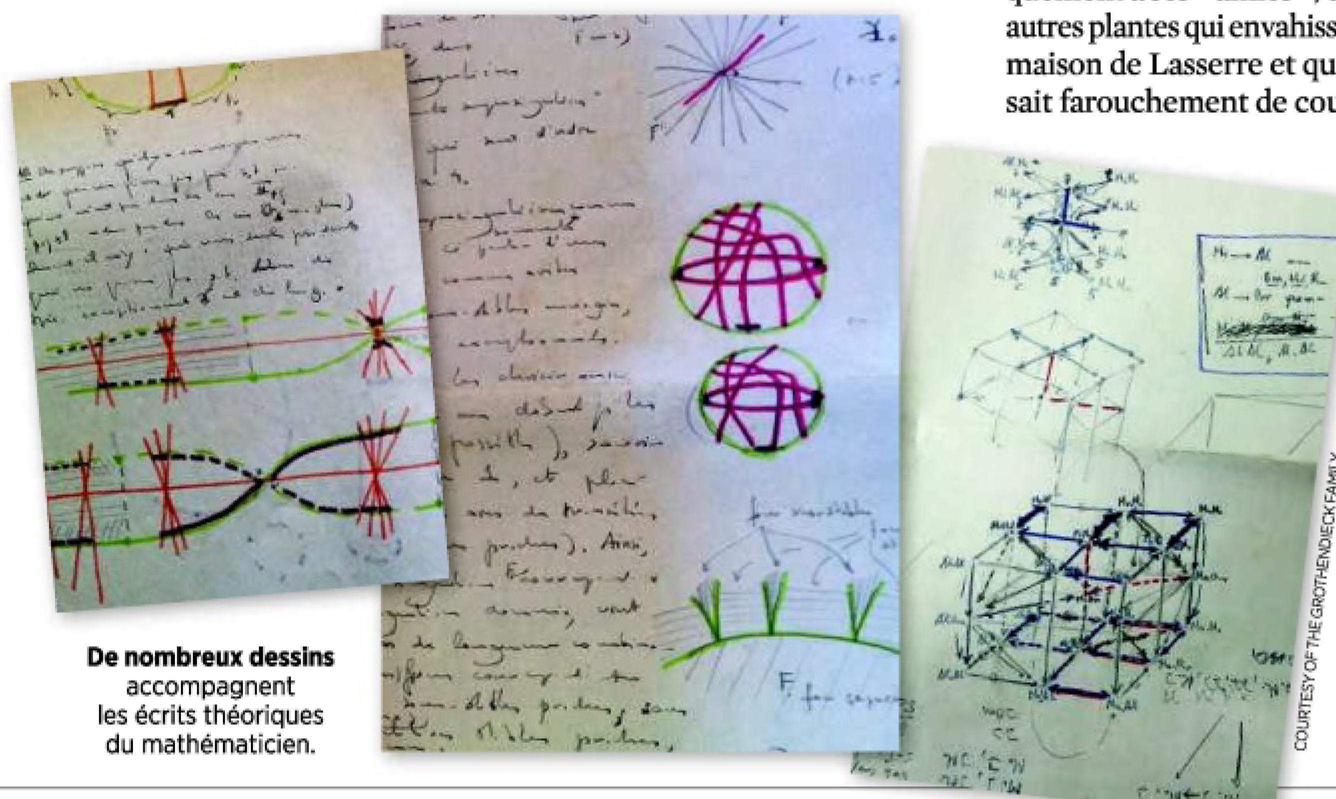

AP/SIPA

Jusqu'à la fin des années 1960, Alexandre Grothendieck tiendra les mardis après-midi un séminaire à l'IHES, où se retrouvent des étudiants de l'ENS.

a pas faites. L'ennuyeux c'est que le théorème est peut-être bien faux... » Jean Dieudonné rappelle lui aussi Grothendieck à l'ordre : «*Je te renvoie ton manuscrit* [...] *Je souhaiterais que tu le révises de façon à donner des démonstrations complètes (souligné)* ». Pendant une dizaine d'années, l'intrépide et brouillon Grothendieck s'engage ainsi dans une voie de recherche inédite, persuadé que *« ça devrait passer »* et confiant ses *« gribouillis »* à Dieudonné chargé de trouver ce passage. L'un travaille la nuit et dort le jour, l'autre fait l'inverse : la machine à composer les 11 000 pages des EGA tourne ainsi presque 24 heures sur 24. Un groupe d'élèves de Normale sup (Michel Demazure, Luc Illusie, Pierre Deligne, Michel Raynaud...) poursuivra ce travail en rédigeant les SGA.

On retrouve ainsi dans ces malles de multiples traces de cette épopée comme autant de chapitres à ajouter à l'histoire de l'école française de mathématiques. Une histoire souvent passionnelle, faite de drames et de ruptures tant le rugueux Grothendieck accuse — à tort — ses élèves de le piller. Ainsi Jean Dieudonné écrit-il, amer : *« Je constate avec regret que tu pratiques systématiquement ce que les Anglo-Saxons appellent l'*innuendo, *qui consiste à lire dans un texte ce qui n'y est pas et à interpréter ces phrases supposées comme insultantes. »* Blessé lui aussi, Luc Illusie signe en 1985 une lettre qui se termine par : *« J'espère que ces modestes réflexions t'aideront à te faire une idée plus juste de mon rôle* [...] *ou si tu préfères de ma contribution à ton enterrement. »*

Mais la lettre la plus émouvante est sans doute celle de John Nash. Le célèbre mathématicien américain, qui se trouve alors dans un hôpital psychiatrique aux États-Unis pour schizophrénie, demande à son ami de lui trouver un point de chute en Europe pour reprendre ses recherches. L'IHES est évidemment une possibilité. Mais l'affaire ne se fera pas et John Nash restera de l'autre côté de l'Atlantique pour devenir l'un des meilleurs spécialistes de la théorie des jeux qui lui vaudra un prix Nobel d'économie (1994). Alexandre Grothendieck, lui, finira sa vie en parlant uniquement à ses « amies », orties et autres plantes qui envahissaient sa maison de Lasserre et qu'il refusait farouchement de couper. ■


COURTESY OF THE GROTHENDIECK FAMILY

De nombreux dessins accompagnent les écrits théoriques du mathématicien.

BIO EXPRESS

28 mars 1928. Naissance à Berlin (Allemagne).

1934. Ses parents le confient à un pasteur avant de s'engager deux ans plus tard dans l'armée républicaine espagnole.

1939. Il retrouve ses parents à Nîmes et prend avec sa mère le chemin du camp d'internement du Rieucros (Lozère).

1948. Licence de mathématiques à l'université de Montpellier. Assiste au cours d'Henri Cartan à l'ENS et au séminaire de Jean Leray au Collège de France.

1949. Rejoint Laurent Schwartz et Jean Dieudonné à l'université de Nancy.

1966. Médaille Fields. Refuse d'aller la chercher à Moscou, où son père, anarchiste, avait été persécuté.

1969. Quitte l'IHES, refusant que le ministère de la Défense participe au financement. Crée Survivre et vivre, une des premières associations écologiques.

1971. Apatride, accepte la nationalité française.

1973. Rejoint l'université de Montpellier.

1991. Se retire à Lasserre (Ariège).

13 novembre 2014. Décès à Saint-Girons (Ariège).

L'équation de Drake ou la probabilité d'existence d'autres civilisations





Rastro

N_{civ} = $F_{ét}$ x P_{pla} x N_{pla} x

Civilisations Nombre potentiel de civilisations extraterrestres avec lesquelles les Terriens pourraient entrer en contact.

Étoiles Nombre d'étoiles se formant chaque année dans la Voie lactée.

Planètes Pourcentage de ces étoiles possédant des planètes.

Eau liquide Nombre moyen par étoile de planètes gravitant dans la zone dite habitable (zone où l'eau peut se maintenir à l'état liquide).

Sur la piste des extraterrestres

Cela fait 55 ans que les astronomes examinent sous toutes les coutures la fameuse équation de Drake, estimant le nombre potentiel de civilisations extraterrestres communicantes dans la Galaxie… Aujourd'hui, sa valeur est revue fortement à la hausse.

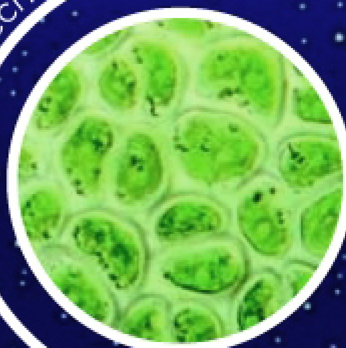
Depuis que nous sommes en mesure d'envoyer des signaux codés vers des étoiles lointaines, nous avons écouté grâce aux radiotélescopes plus d'un milliard de fréquences différentes ! Mais si force est de constater qu'aucun E.T. ne s'est encore manifesté malgré une folle rumeur qui a alimenté la toile cet été, l'estimation du nombre de civilisations extraterrestres susceptibles d'exister dans l'univers a considérablement évolué. À l'heure où la découverte de l'exoplanète Proxima b à 4,2 années-lumière de nous a créé beaucoup d'émoi *(lire p. 12)*, deux articles scientifiques viennent même de parvenir à en évaluer la fourchette. Le tout, en précisant les termes de la célèbre et très sérieuse « équation de Drake » dont l'objectif est d'estimer combien de civilisations seraient capables de communiquer avec nous. Selon les calculs des Américains Adam Frank, de l'université de Rochester, et Woodruff Sullivan, de l'université de Washington à Seattle, la probabilité minimale d'existence d'une vie extraterrestre intelligente serait ainsi de… un millionième de milliardième de milliardième. Extrêmement faible, certes, mais non nulle… !

Pour comprendre l'intérêt de ces calculs de prime abord anecdotique, il faut faire un bond en

EXOPLANÈTE Planète en orbite autour d'une autre étoile que le Soleil. Nous en connaissons aujourd'hui plus de 3500.

ZONE HABITABLE Région autour d'une étoile où une éventuelle planète serait dotée de conditions de températures et de pression favorables au maintien de l'eau liquide.

NAINE M Étoile dont la masse varie de 0,1 à 0,4 masse solaire. Sa température de surface est d'environ 3 500 K, c'est-à-dire une teinte rouge que détectent les télescopes.









$P_{vie} \times P_{int} \times P_{com} \times T$

Vie
Estimation du taux de planètes portant la vie.

Intelligence
Estimation du taux de ces planètes où cette vie est intelligente.

Communication
Parmi ces dernières planètes, taux de civilisations capables de communiquer

Temps
Durée de vie de ces civilisations, qui doit être suffisante pour avoir une chance d'intercepter un signal.

PHOTOS : DIDIER FLORENTZ - NOVAPIX - INFOGRAPHIE : BETTY LAFON

Sept facteurs entrent en compte dans la formule mathématique de Drake. Les trois premiers sont d'ordre astronomique (Rastro) et les trois suivants dépendent de la vie et du type de civilisation que l'on recherche. (fbiotech), auxquels se rajoute la durée de vie d'une civilisation communicante.

arrière et revenir en 1959, lorsque deux physiciens de l'université Cornell (États-Unis), Philip Morrison et Giuseppe Cocconi, publient dans la revue *Nature* une étude qui fait date sur les communications interstellaires et les signaux pouvant se propager très loin dans l'espace. Étudiant en radioastronomie dans la même université, le jeune Frank Drake dévore l'article. Il décide aussitôt de monter le projet Ozma — inspiré du magicien d'Oz — qui utiliserait le radiotélescope de Green Bank, en Virginie-Occidentale. Objectif : envoyer un signal à deux étoiles proches du système solaire (Epsilon Eridani et Tau Ceti) en espérant recevoir une réponse. Le programme, peu onéreux, démarre sur les chapeaux de roue et une fausse alerte provoque même beaucoup d'émoi. Mais après 200 heures d'écoute, il faut bien se rendre à l'évidence : les espaces infinis restent muets... Drake décide alors de rationaliser sa recherche en proposant une estimation mathématique du nombre de civilisations extraterrestres éventuelles dans notre galaxie. C'est la fameuse équation qui porte son nom. Elle indique que le nombre de civilisations extraterrestres est égal au produit de sept termes, pas un de plus *(voir l'infographie ci-dessus)*.

« *Cette équation fournit un cadre de réflexion intéressant* », estime Nicolas Prantzos, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Pour preuve : depuis sa formulation en 1961, elle ne cesse d'enflammer les esprits, chacun pouvant débattre à l'infini de la valeur des paramètres choisis par Drake. Pendant longtemps cependant, les astronomes ont plutôt brodé dans le vide, ne sachant pas trop comment déterminer ces valeurs, faute de connaissances suffisantes. « *Jusqu'à ce que la recherche des exoplanètes batte son plein* », rappelle Nicolas Prantzos, entraînant ainsi l'envolée du paramètre concernant le nombre d'étoiles possédant une planète. Le compteur ne cesse, depuis, de s'affoler : 3516 étaient recensées fin août alors que les scientifiques n'en connaissaient aucune en 1995. Il en existerait même des centaines de milliards, à en croire l'astrophysicien Arnaud Cassan qui, dans une étude de 2012, estime que chaque étoile de la Galaxie possède 1,6 planète de plus de 5 masses terrestres en moyenne. Qui plus est, certaines étoiles ont davantage de planètes en orbite que les autres. C'est le cas des naines M *(voir lexique)*, qui constituent 90 % de notre environnement stellaire, chacune étant reliée à 3,1 planètes en moyenne selon l'évaluation d'Eric Gaidos, de l'université de Hawaii (États-Unis), en 2015.

OBSERVATION

Vers où regarder ?

Si une civilisation extraterrestre cherche d'autres signes de vie, il est fort à parier qu'elle prendra les mêmes chemins de la connaissance que nous : il faut d'abord trouver des planètes. La technique la plus féconde est pour nous celle des transits. Quand notre axe de visée se trouve dans le plan orbital d'une exoplanète, celle-ci occulte régulièrement son étoile, nous permettant de connaître son rayon et les caractéristiques de son atmosphère. Dans le système solaire, ce plan s'appelle l'écliptique. Pour les Allemands René Heller, de l'Institut Max-Planck de Göttingen, et Ralph Pudritz, de l'université McMaster au Canada, c'est dans ce plan, donc dans les directions des constellations du zodiaque, qu'il faut chercher des civilisations qui pourraient nous détecter quand elles voient la Terre passer devant le Soleil.



Le radiotélescope Fast inauguré en Chine aura pour mission, entre autres, la recherche de vie extraterrestre.

La vie « intelligente » pourrait-elle trouver refuge sur ces planètes situées en « zone d'habitabilité » *(voir lexique)* ? Pas si simple ! Car, comme le fait la Lune avec la Terre, elles montrent toujours la même face à leur étoile. *« Or il n'est pas facile de concevoir une vie sur une surface où il fait toujours jour, ou toujours nuit »*, explique Alain Lecavelier des Étangs, spécialiste des exoplanètes à l'Institut d'astrophysique de Paris.
Difficile... mais pas impossible, comme vient de le montrer une étude belge parue en juin. Ludmila Carone, Rony Keppens et Leen Decin, de l'Université catholique de Louvain (Belgique), révèlent en effet que le climat n'y serait pas si inhospitalier, à condition qu'elles possèdent une atmosphère. Celle-ci tempère en effet de 25 °C les températures entre la face éclairée — où il ferait presque 100 °C — et la face sombre où l'eau gèlerait. Pourtant, la vie dans le voisinage des naines M resterait aventureuse : celles-ci sont en effet *« sujettes à des éruptions ionisantes soudaines et très violentes »*, précise Alain Lecavelier des Étangs.

Ne pas confondre « habitable » et « habité »

C'est pourquoi les recherches s'orientent désormais davantage vers des étoiles ressemblant au Soleil. Et les opportunités ne manquent pas. *« En ne prenant que les étoiles entre 0,7 et 1,2 masse solaire, le résultat de la multiplication des trois premiers facteurs de la formule de Drake (Rastro) est égal à 0,1 »*, calcule Nicolas Prantzos. Ce qui signifie que 10 % de toutes les planètes que l'on trouve dans la galaxie seraient habitables ! Mais il faut cependant tempérer l'enthousiasme car il ne faut pas confondre « habitable » et... « habité ». Et il reste en outre à évaluer le facteur le plus difficile, c'est-à-dire la probabilité que toute vie évolue vers une forme intelligente et capable de communiquer (fbiotec). La tâche est difficile. En effet, l'estimation de cette valeur dépend des réflexions philosophico-sociologiques que l'on peut nourrir sur les civilisations dans leur ensemble et la nôtre en particulier, le seul exemple dont nous disposons. Les plus optimistes lui attribuent près de 50 % de chance, tandis que les Américains Adam Frank et Woodruff Sullivan ont donc calculé la probabilité minimale d'existence... à un millionième de milliardième de milliardième.
Reste, dans la formule de Drake, le terme T représentant la durée de vie d'une civilisation communicante. Nous, Terriens, sommes capables de lancer des signaux dans l'espace depuis 50 ans à peine. Avec les valeurs Rastro de 0,1 et fbiotec de 0,5, les calculs sont désormais les suivants : il faudrait que deux civilisations communicantes — si tant est qu'il en existe une seconde — « patientent » 40 ans pour envoyer des signaux et 80 ans pour pouvoir communiquer, le temps de l'aller-retour des messages. De quoi frapper une mémoire humaine.
C'est sur cet argument que se fondent les partisans des grands programmes de recherche, comme Seti (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) qui a mobilisé pendant des décennies le radiotélescope de 300 m de diamètre d'Arecibo de Porto-Rico, dans les Antilles, pour la recherche des signaux extraterrestres. Un programme qui, malgré l'absence de résultat, sera repris dès la fin de cette année par le nouveau radiotélescope chinois Fast *(lire* S. et A. *n° 834)* de 500 m de diamètre. Mais si la probabilité minimale d'existence d'une vie extraterrestre intelligente capable d'échanger n'est réellement que de un millionième de milliardième de milliardième, notre civilisation a l'obligation de « tenir » encore au moins 40 millions de milliards de milliards d'années si elle veut conserver l'espoir d'entrer en contact. Plus que l'éternité. ■ **Jacques-Olivier Baruch**



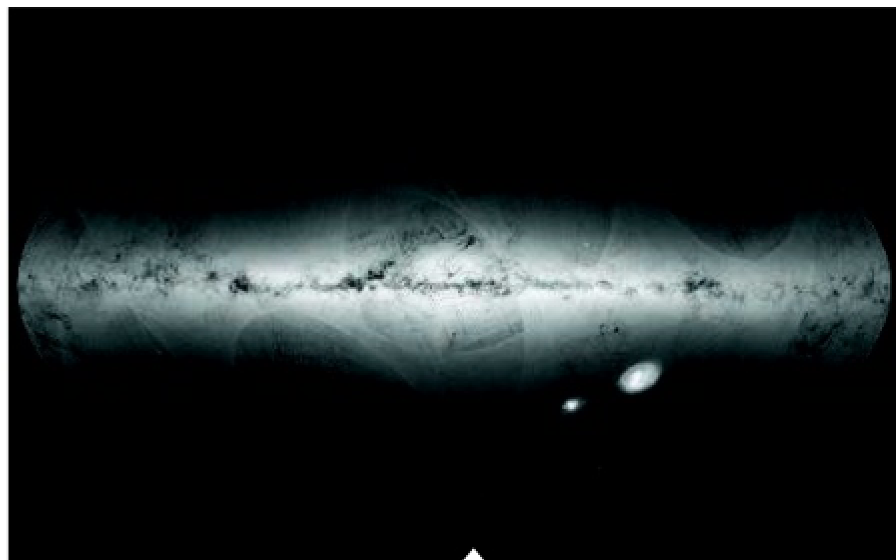
« Il n'est pas facile de concevoir une vie sur une surface où il fait toujours jour, ou toujours nuit »
Alain Lecavelier des Étangs, Institut d'astrophysique de Paris

La plus belle carte de la Voie lactée

Le satellite Gaia a recensé plus d'un milliard d'étoiles sur les 200 milliards que compte notre galaxie.

ÉPOUSTOUFLANTE, la carte élaborée par le satellite Gaia de l'ESA (Agence spatiale européenne) qui vient d'être dévoilée ! Elle positionne 1,15 milliard d'étoiles dans notre galaxie, la Voie lactée. Une profusion qui ne représente cependant que 0,5 % environ de la population galactique, estimée à 200 milliards d'étoiles au minimum. Mais avec une précision cent fois supérieure à la carte précédente, soit un millième de seconde d'arc environ, ce qui correspond au disque que formerait une pièce de un euro observée à une distance de 4000 km.

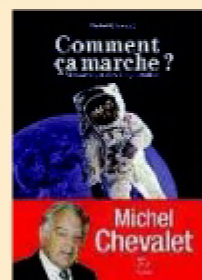
Le premier catalogue, celui de Ptolémée au IIe siècle, ne regroupait que 1022 étoiles, un exploit en son temps qui a fait autorité durant mille ans. Il a été suivi par ceux du Danois Tycho Brahé (1602) et du Britannique John Flamsteed (1725). Le dernier en date était celui établi par le satellite Hipparcos de l'ESA, il y a 25 ans. Tous présentent la Voie lactée à un instant donné car les étoiles ont leur propre mouvement dans la Galaxie. *« D'ailleurs, pour les 2 millions d'étoiles les plus brillantes nous avons utilisé les données de Hipparcos afin de déterminer leur déplacement en 25 ans, calculer ainsi leur vitesse et distance »*, explique François Mignard, de l'observatoire de la Côte d'Azur, et membre de l'équipe Gaia. Fin 2017, le satellite aura fourni ces mêmes paramètres pour 1,15 milliard d'étoiles. Au-delà de la Voie lactée, 250 000 quasars ont également été positionnés. Ces cœurs lumineux de galaxies lointaines sont des repères qui donnent une idée de l'étendue de l'Univers. *« Gaia devrait fonctionner jusqu'en juin 2019. Nous disposerons ainsi d'une vision globale de notre galaxie*, reprend François Mignard. *Ensuite nous pourrons nous focaliser sur une région. Par exemple, le centre galactique dont les étoiles pourront être explorées dans le domaine de l'infrarouge, afin de voir à travers les poussières qui encombrent ces régions. »* ■ **Azar Khalatbari**


ESA/GAIA/DPAC

Chaque point de cette carte réalisée par Gaia représente la position d'une étoile.

Comment ça marche ?

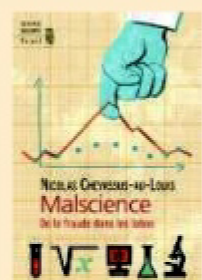
Mémoires spatiales d'un journaliste



Michel Chevalet, Paulsen, 240 p., 21 €

Il n'aime rien tant que les maquettes et les blagues. Après plus de quarante-six ans de télévision, le ton de celui qui fut aussi journaliste à *Sciences et Avenir* est reconnaissable entre mille. Outre la grande histoire du spatial post-lunaire, Michel Chevalet narre ici avec faconde les coulisses de cap Canaveral ou Baïkonour : le béret basque de Patrick Baudry, le piano électrique de Jean-Loup Chrétien... Et comment, malgré une promesse à 80 millions de francs de François Mitterrand, l'auteur n'est pas devenu astronaute ! Pédago-réjouissant. ■ **Dominique Leglu**

Malscience. De la fraude dans les labos

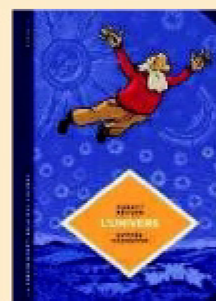


Nicolas Chevassus-au-Louis, Seuil, 208 p., 18 €

« Chercher, découvrir, tester, publier, avoir du succès et être applaudi : six mots qui résument à merveille la genèse d'une dérive vers la fraude », écrit notre confrère journaliste, docteur en biologie et historien. Fraude à laquelle auraient succombé pas moins de 2 % des chercheurs au niveau mondial (140 000 personnes) et dont ce livre rappelle nombre d'exemples marquants (Obokata, Hwang, Voinnet...). En France, le 26 juin 2016, un rapport remis au gouvernement sur l'intégrité scientifique montre qu'il reste beaucoup à faire, notamment créer un office pour gérer les manquements. Un ouvrage salutaire. ■ **D.-J. L.**

BD

L'Univers



Hubert Reeves, Daniel Casanave, Le Lombard, 70 p., 10 €

Dans cette BD poétique et profonde, Hubert Reeves raconte l'Univers, et pour notre plus grand bonheur, il le fait à sa manière, c'est-à-dire avec beaucoup d'humanité et de sensibilité. Il aborde même la complexité du monde à travers deux notions, « émergence » — dans le cas de la vie ou des structures complexes — et « rencontre créatrice » — comme celle de l'atome d'oxygène et d'hydrogène à l'origine de la formation de l'eau. Enfin, il ne manque pas d'apporter le sens de notre passage sur Terre : œuvrer à embellir le monde. Un petit bijou d'intelligence où texte et dessins se complètent harmonieusement. ■ **A. Kh.**

La splendeur révélée de la reine Arégonde

De nouvelles analyses des bijoux, atours et restes organiques ont permis de reconstituer l'histoire de cette souveraine franque du VIe siècle.

Par Bernadette Arnaud

LONG MANTEAU DE SOIE TEINT À LA POURPRE, tunique en soie tissée en Chine, bijoux en grenat originaire d'Inde... De nouvelles analyses menées sur la dépouille d'Arégonde et son fabuleux mobilier funéraire livrent une exceptionnelle « autopsie » riche en surprises ! De quoi écrire l'histoire de cette première et unique souveraine mérovingienne dont les restes nous sont parvenus, l'une des sept épouses de Clotaire 1er, le fils de Clovis, arrière-grand-mère du roi Dagobert, qui mourut à 60 ans en 564, percluse de rhumatismes et souffrant de diabète.

Pendant quinze ans, de 1999 à 2016, des généticiens, biologistes, paléopathologistes, physiciens et archéologues se sont penchés sur les sarcophages de pierre de la basilique Saint-Denis, en particulier le n° 49, retrouvé inviolé dans les années 1950, où reposait la souveraine, entourée d'objets précieux. Celle-ci avait été identifiée grâce à une bague sigillaire (portant un sceau) en or *(lire p. 50)*, sur laquelle était gravé ARNEGVNDIS REGINE (reine Arégonde). Outre les bijoux, textiles et les habituels ossements, la sépulture a livré des restes organiques exceptionnels, récemment redécouverts, alors qu'on les pensait égarés depuis des décennies. *« L'analyse de ces échantillons avec des techniques innovantes nous a permis de recueillir de nouvelles données et de redessiner totalement le portrait d'Arégonde »*, résume Patrick Périn, conservateur général honoraire du patrimoine, ancien directeur du musée d'Archéologie nationale (MAN) de Saint-Germain-en-Laye (Yvelines) et chef d'orchestre de cette enquête médico-légale qui a conduit les chercheurs... jusqu'aux rivages de l'Inde.

L'aventure débute en septembre 2012 lorsque Patrick Périn croise Valérie Serdon-Provost lors d'un congrès organisé par l'Association française d'archéologie mérovingienne (Afam) à Strasbourg.



▲ **Le costume d'apparat** de la reine est d'un luxe extraordinaire : long manteau de soie pourpre venue de Chine, voile en samit de soie rouge et jaune, venu de Byzance, ceinture ornée d'or et de grenats...

FLORENT VINCENT



L'analyse des grenats des bijoux en or cloisonné que portait la reine a révélé qu'ils proviendraient d'Inde et du Sri Lanka. Des échanges commerciaux ignorés jusque-là par les spécialistes.

Maître de conférences en histoire et archéologie du Moyen Âge à l'université de Lorraine (Nancy), celle-ci découvre que l'archéologue est à la recherche d'échantillons de la dépouille d'Arégonde, disparus lors des études réalisées à la fin des années 1950. La jeune femme les retrouve peu après à la faculté de médecine de Nancy où ils avaient été envoyés, rangés non étiquetés sur des étagères, puis oubliés ! Il s'agissait d'une mèche de cheveux et de deux fragments de côtes flottantes auxquels adhéraient encore des tissus organiques. *« J'ai aussitôt pris le train pour Paris avec les restes de la reine dans un sac en plastique ! »*, raconte l'historienne. Récupérés par Patrick Périn, les échantillons sont confiés pour analyse au Laboratoire d'anthropologie physique CNRS-Unsa-Cepam de Sophia-Antipolis (Nice, Alpes-Maritimes), en compagnie de quelques os du royal squelette. Première constatation : Arégonde était petite et souffrait d'un handicap. D'après la longueur restituée de son fémur, elle devait mesurer environ 1,60 m et présentait des séquelles d'une paralysie enfantine contractée vers l'âge de 5-6 ans, sans doute la poliomyélite, à en croire l'analyse des métatarsiens droit et gauche, de taille différente. Selon Claude Rücker (CNRS-CEPAM), associé à ces travaux, son squelette montrerait aussi une arthrite lombaire qui devait provoquer de violentes douleurs. L'épaississement anormal des os du crâne serait même le signe de la maladie de Forestier, une affection, souvent liée au diabète, entraînant une raideur du dos et des cervicales. L'examen des dents a quant à lui révélé des traumatismes intimes. Ainsi, l'étude d'une prémolaire selon la technique des anneaux cémentaires, qui consiste à compter le nombre de couches de cément (tissu recouvrant la dentine), *« a montré que la reine a été victime d'un important stress vers l'âge de 18 ans, sans doute au moment de l'accouchement difficile de son premier fils, Chilpéric »*, poursuit Patrick Périn.

On a pu être préciser aussi qu'elle serait morte à environ 60 ans et non 45 ans comme estimé jusque-là, *« ce qui nous permet de situer* ▶

CCRMF

ROYAUTÉ

Une souveraine mérovingienne

Arégonde était sans doute issue d'une de ces familles de l'aristocratie germanique qui domina une grande partie de l'Europe à partir du ve siècle après la disparition de l'Empire romain d'Occident. Son existence est surtout connue grâce aux chroniques de l'évêque Grégoire de Tours (539-594) qui la mentionne dans sa grande histoire des Francs intitulée *Dix Livres d'histoire*, où il lui attribue le rang de reine. Mais seules quelques lignes la concernent, d'abord comme l'une des sept épouses du roi mérovingien Clotaire 1er, fils de Clovis, puis comme mère de Chilpéric 1er, à la cour duquel elle semble avoir vécu jusqu'à sa mort, vers 580.



Boucle d'oreille en or filigrané.

ORFÈVRERIE

Un fabuleux trésor

Découverte à Saint-Denis en 1959, la tombe inviolée de la reine Arégonde a livré un riche mobilier qui témoigne du raffinement de la cour des souverains mérovingiens.

En 1959, Michel Fleury, alors directeur des Antiquités nationales et de la Commission du vieux Paris, met au jour un sarcophage scellé dans la basilique royale de Saint-Denis (Seine-Saint-Denis). Dans la tombe intacte, le squelette d'une femme est enveloppé dans des vêtements funéraires prestigieux. La défunte est recouverte d'un voile en samit (sorte de satin en fils d'or et de soie) rouge d'origine byzantine. Elle porte deux manteaux : l'un tissé de laine et de poils de castor, l'autre teint en pourpre — privilège des souverains depuis les Romains — doublé de soie violette. Les extrémités des manches en cuir sont serties de samit sassanide. Des épingles en or ont été retrouvées au fond de la sépulture, ainsi que des boucles d'oreilles d'origine byzantine, et des fibules (attaches de manteau) en grenats cloisonnés. Le long des jambes, des jarretières à boucles d'argent maintiennent des chaussures en peau de chevreau rouge. Sa taille est ceinte d'une magnifique ceinture d'orfèvrerie ornée de grenats et d'or. *« La nouvelle reconstitution du costume d'Arégonde témoigne de l'influence qu'exerçait la cour byzantine en Occident aux VI[e] et VII[e] siècles »*, rappelle Patrick Périn, conservateur général honoraire du patrimoine. Le trésor peut être admiré au musée d'Archéologie nationale (MAN), de Saint-Germain-en-Laye (Yvelines).



Cette épingle en cloisonné d'argent et d'or avec grenats maintenait le voile en place.



Ces deux fragments de galon figurent parmi les 165 échantillons de textiles retrouvés dans la tombe. Une collection unique en Europe.



L'anneau porte le prénom Arnegvndis entourant un monogramme signifiant « regine » (reine).

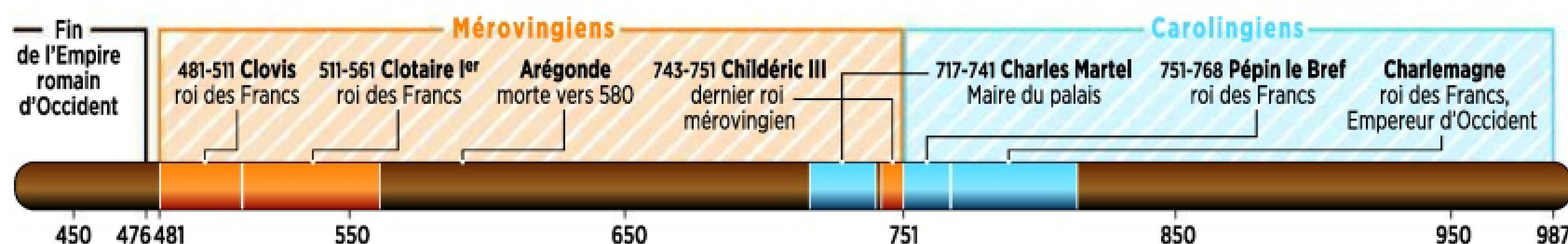


La plaque boucle et la contre-plaque en argent, pâte de verre et grenats, retrouvées dans la tombe, permettaient de fermer une ceinture de cuir (reconstitution).



La chaussure en chevreau était fixée par une lanière de cuir (reconstitution).

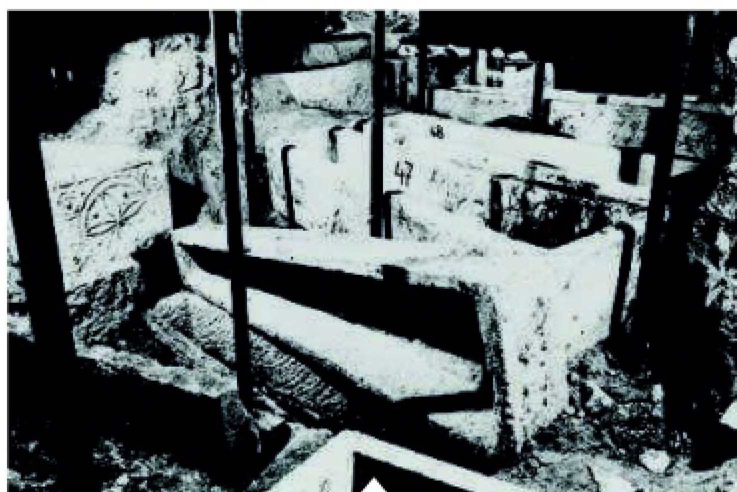
PHOTOS : V. GÔ / MUSÉE D'ARCHÉOLOGIE NATIONALE DE SAINT-GERMAIN-EN-LAYE - J.-G. BERIZZI / RMN - GRAND PALAIS



son décès vers 580, soit quelques années avant l'assassinat de Chilpéric, en 584 », poursuit le spécialiste. L'examen de la mèche de cheveux, effectué au Centre de recherches et de restauration des musées de France (C2RMF) par Thomas Calligaro et Hoon Shin, anatomiste de l'université de Séoul (Corée-du-Sud), a de son côté révélé qu'Arégonde se teignait les cheveux suivant une coutume attestée depuis l'Antiquité. Auparavant, le professeur Jean-Jacques Cassiman, du Center Human Genetics Laboratory de l'université catholique de Louvain (Belgique), avait comparé ces vestiges capillaires à l'ADN extrait d'un os du pied de la souveraine pour confirmer qu'ils appartenaient bien à la même personne.

Une collection de fragments de tissus unique en Europe

L'analyse des textiles a également apporté des résultats extraordinaires. « *Une collection de 165 fragments de tissus a pu être reconstituée, ce qui est unique en Europe* », poursuit Patrick Périn. La souveraine était vêtue de deux pièces de taffetas… tissées en Chine ! C'est sans doute par les routes continentales de la soie, mais surtout par les voies maritimes de l'océan Indien et de la mer Rouge, que la soie parvenait dans le Bassin méditerranéen. On y importait non seulement des fils, tissés ensuite en Perse, dans le monde byzantin ou en Égypte, mais parfois aussi des étoffes, tels ces taffetas. Les chercheurs ont aussi acquis la certitude que le manteau royal avait été teint au pourpre, une couleur obtenue à partir d'un mollusque



Le sarcophage d'Arégonde (ici, couché sur le côté) fut découvert en 1959 lors de fouilles dans la basilique de Saint-Denis.

gastéropode de type *Murex*. Cette teinture réservée aux souverains provenait de l'espèce *Heraplex trunculus*, rencontrée en Méditerranée occidentale au large d'Ibiza mais aussi en mer Rouge et dans le golfe Persique.
Quant à l'étude des joyaux, elle a révélé que les grenats sertis dans les bijoux en métal cloisonné portés par Arégonde, caractéristiques de l'Occident du haut Moyen Âge, provenaient de l'Inde et du Sri Lanka. Une découverte qui dévoile des échanges commerciaux entre l'Europe mérovingienne et l'Asie du Sud entre le Ve et le VIIe siècle, ignorés jusqu'alors de tous les spécialistes. Pour ce faire, Patrick Périn et Thomas Calligaro ont utilisé l'accélérateur de particules Aglae du C2RMF ainsi qu'un nouveau dispositif portable d'analyses de faisceau à hélium permettant de déterminer la composition géochimique des minéraux. Les deux chercheurs, qui ont étendu leurs investigations à l'ensemble des bijoux mérovingiens conservés en Europe, ont établi qu'Arégonde n'était pas la seule à porter des gemmes venues d'Orient. La totalité des grenats enchâssés dans plus de 4000 objets archéologiques conservés en Roumanie, en Allemagne et aux Pays-Bas proviennent en effet du Sri Lanka et d'Inde, « *30 % étant originaires du Rajasthan* », précise Thomas Calligaro. Il en va de même pour les pierres fines du trésor du Staffordshire, daté de l'an 600 environ, récemment mis au jour en Grande-Bretagne. « *À travers ce vaste commerce maritime entre Inde, mer Rouge et Méditerranée qui a existé entre le Ve et le VIIe siècle, nous sommes parvenus à démontrer que les orfèvres européens n'ont eu accès qu'à six sources d'approvisionnement, et pas une de plus* », poursuit Thomas Calligaro. Il semble que ce soit à la suite de troubles politico-économiques, vers la fin du VIIe siècle, que les grenats indiens seront remplacés par des pierres provenant de gisements de Bohème (République tchèque) et du Portugal.
L'ensemble de ces données exceptionnelles vont faire l'objet d'une publication *(lire pour en savoir plus)*, compilant l'étude des 80 tombes mérovingiennes de la basilique de Saint-Denis (Seine-Saint-Denis). « *On possède souvent plus d'informations sur les souverains d'Égypte, que sur nos propres monarques de cette lointaine période !* », avoue Patrick Périn. Des souverains qui seront bientôt à l'honneur dans deux expositions *(lire pour en savoir plus)* : la saison automne-hiver 2016-2017 s'annonce très mérovingienne ! ■

@NarudaaArnaud

POUR EN SAVOIR PLUS

Livre
Les Tombes mérovingiennes de la basilique de Saint-Denis, Patrick Périn. À paraître fin 2016.

Expositions
- « Les temps mérovingiens », musée de Cluny-musée national du Moyen Âge, à Paris, du 26 octobre 2016 au 13 février 2017.
- « Austrasie, le royaume mérovingien oublié », espace Camille-Claudel, Saint-Dizier, du 16 septembre 2016 au 26 mars 2017.

Le meilleur ami de l'homme est né deux fois

Une étude génétique de grande ampleur prouve que la domestication du loup, devenu chien, s'est produite de façon indépendante dans deux régions du monde, Europe et Asie.

On a coutume de dire que la foudre ne tombe jamais deux fois au même endroit. Il semblerait pourtant que ce ne fut pas le cas pour le coup de foudre qui se produisit entre l'être humain et le chien, faisant d'eux des compagnons inséparables. Selon l'étude génétique menée par Laurent Frantz, du laboratoire de recherche en archéologie et histoire de l'art de l'université d'Oxford (Grande-Bretagne), la domestication du loup en chien se serait en effet produite de façon indépendante dans deux régions du monde. D'abord en Europe de l'Ouest vers -15 000 ans puis en Asie orientale vers -12 500. Pour en arriver là, les chercheurs ont rassemblé toutes les données disponibles afin de conduire l'étude génétique la plus complète jamais entreprise sur la question.
« *Nous disposions en tout de 59 ADN mitochondriaux de chiens européens ayant vécu entre -14 000 et -3000 ans et de l'ADN complet très bien conservé d'un chien irlandais d'il y a 4800 ans*, énumère Laurent


J.C. DOMENECH/MUSÉE DE L'HOMME

L'étude a mêlé données archéologiques (ici mandibule et crâne de chien datant de -4000 ans) et analyses génétiques.

Frantz. *Nous avons comparé les données génétiques obtenues avec celles disponibles sur des centaines de loups et de chiens modernes de toutes races à la surface du globe.* » Les analyses dévoilent une carte généalogique précise des canidés et permettent d'expliquer, du moins en partie, la bisbille scientifique qui agitait le milieu depuis plusieurs années. En effet, tandis qu'une partie des spécialistes estimaient que la domestication avait dû se dérouler en Europe, d'autres lui préféraient l'Asie, arguant du manque de données génétiques en faveur de l'origine européenne. Aujourd'hui tout s'éclaire grâce aux données analysées par Laurent Frantz et son équipe ! Elles montrent en effet qu'après les deux épisodes de domestication, les chiens asiatiques ont migré en Europe avec leurs propriétaires vers -4 500 ans, où ils ont presque totalement supplanté la population autochtone. Résultat : quasiment toute trace des origines de celle-ci a été effacée par les « remplaçants » asiatiques. De quoi laisser croire pendant longtemps qu'il n'y avait pas eu de domestication ailleurs qu'en Asie, ce qui contredisait les données archéologiques et compliquait les recherches scientifiques.

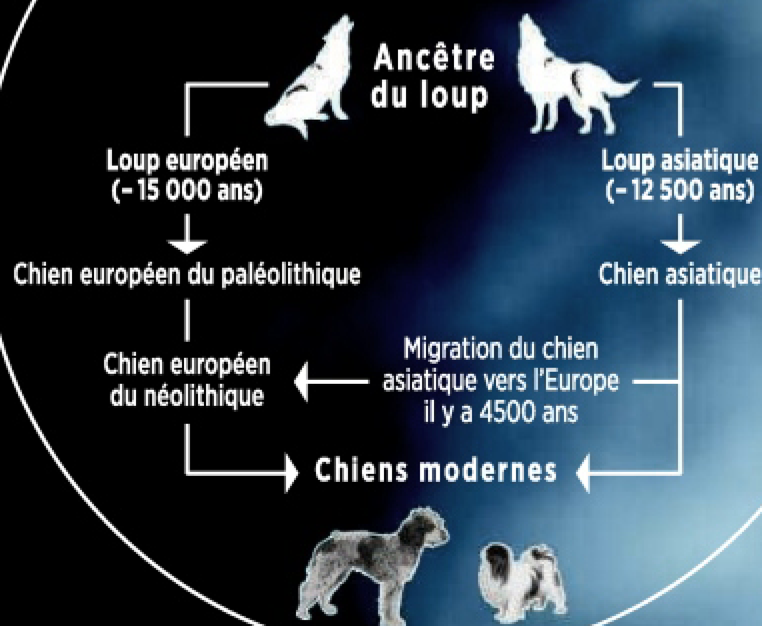
Seuls ont été gardés les sujets les moins agressifs

Aujourd'hui, la plupart des races modernes descendent de croisements entre chiens d'Europe et chiens d'Asie. Chiens et humains étaient donc faits pour s'entendre. Les premiers — alors qu'ils étaient encore des loups — en s'approchant des campements des chasseurs-cueilleurs du paléolithique pour y trouver des déchets à profusion pour se nourrir. Les seconds en y décelant des gardiens incomparables pour les prévenir d'une menace comme un gros prédateur à l'affût. Du reste, il y a fort à parier que l'histoire de l'être humain — et notamment l'apparition de l'élevage vers 8000 ans avant notre ère — aurait été différente si le chien n'avait pas été présent comme fidèle assistant.

ÉVOLUTION

Quand sélection rime avec extinction

Issu de la vague de sélections ayant eu cours lors de l'époque victorienne en Grande-Bretagne au XIXe siècle, le bouledogue anglais (*bulldog*) ne se porte pas très bien. Si la popularité de la race ne se dément pas, elle serait nuisible à la bonne santé des individus, selon une étude de généticiens américains. En effet, la sélection drastique pour les obtenir a entraîné une perte de diversité génétique dans les régions de l'organisme en charge du système immunitaire de l'animal qui s'en trouve ainsi fragilisé. Résultat : le bouledogue anglais est aujourd'hui un animal accablé de diverses maladies (difficultés respiratoires, dysplasie de la hanche...) et à la longévité écornée puisqu'elle ne dépasse pas huit ans en moyenne. La solution serait de croiser le bouledogue anglais avec d'autres races. Au risque de perdre les caractéristiques physiques qui ont fait sa renommée...



MARK LAITA - INFOGRAPHIE : BETTY LAFON

Quoi de plus dissemblable qu'un minuscule chihuahua et un énorme danois ? Pourtant tous deux ont pour ancêtres communs les loups européens et asiatiques.

Comment le loup s'est-il transformé en chien ? Facilement, pensent les chercheurs. Domestiquer un animal sauvage n'a, en effet, rien de vraiment compliqué, particulièrement lorsque les espèces concernées engendrent de nouvelles générations en peu de temps. Il suffit pour cela de garder uniquement les sujets les moins agressifs. *« En sélectionnant les individus les plus dociles, on opère un balayage sélectif,* explique Morgane Ollivier de l'école normale supérieure (ENS) de Lyon, qui a participé à l'étude. *Cela a été démontré dès les années 1950 par un biologiste russe, Dimitri Belyaev. Quelques générations lui ont suffi pour domestiquer des renards argentés. »* Le geste était-il délibéré ? La question reste, pour l'heure, en suspens : nul ne sait si l'être humain avait conscience qu'il influait sur les caractéristiques physiques et comportementales des individus pour les modifier à son profit. *« Nous avons répondu à la question du "où ?" et à celle du "quand ?",* sourit Christophe Hitte, de l'Institut de génétique et développement (CNRS, université de Rennes), cosignataire de l'étude. *Mais pour l'instant, nous n'avons pas encore assez d'éléments pour répondre à la question du "comment ?" Pour cela, il faudrait que nous disposions du génome complet d'un nombre important d'individus pour mettre le doigt sur les gènes clés de la domestication. »* *« C'est une très belle étude à n'en pas douter,* nuance de son côté Francis Galibert, de l'université de Rennes, qui reste cependant sur sa faim. *Je ne trouve pas la question de la domestication très intéressante... Mais encore faudrait-il s'entendre sur le terme "domestication". Au sens strict, cela désigne l'influence de l'être humain sur une espèce en faisant des croisements qui répondent à des besoins précis. Cette action consciente remonte au début de l'agriculture, vers 8000 avant notre ère. Mais avant ? Que s'est-il passé durant cette période floue où homme et loup s'apprivoisaient mutuellement ? Car le chien se domestique autant qu'il est domestiqué. Les deux parties trouvent leur intérêt dans ce marché. »*

50 générations de chiens par siècle

Autre question sans réponse : à quoi ressemblaient les chiens d'alors ? Il y a fort à parier qu'ils devaient être très différents des races modernes qui sont essentiellement l'héritage de l'époque victorienne *(lire l'encadré ci-contre)*. En un siècle, tandis que l'être humain aligne à peine quatre générations, le chien en produit plus de 50 au cours desquelles de grandes disparités physiques et comportementales peuvent apparaître. *« Le projet se poursuit,* affirme Christophe Hitte. *Dans l'intervalle, nous avons collecté beaucoup d'échantillons supplémentaires, de manière à proposer bientôt un maillage plus dense tant au niveau géographique que temporel. »* Et Laurent Franz de s'enthousiasmer devant l'énorme collection de fossiles qui reste à étudier. *« À Oxford, nous avons encore plus de mille os à analyser ! »* Le bonheur de l'humain rejoint parfois celui du canidé. ■

Hervé Ratel

Les Grecs adeptes du sacrifice humain ?

Une sépulture mise au jour près d'un sanctuaire dédié au dieu grec Zeus ravive les débats sur la pratique de rites sacrificiels dans cette civilisation antique réputée éclairée.

La découverte d'une étrange sépulture sur les hauteurs pelées du mont Lykaion (ou mont Lycée) au sud-ouest de l'Arcadie, dans le Péloponnèse, pourrait bien balayer quelques idées reçues concernant la pratique de sacrifices humains dans une civilisation associée à l'idée d'humanité. Le squelette d'un jeune homme, retrouvé plus de 3000 ans après son inhumation au cœur de ce célèbre sanctuaire dédié à Zeus, dieu suprême du panthéon grec, interpelle les archéologues. Étendu dans une fosse bordée de dalles de pierre, le corps de l'adolescent reposait parmi les cendres d'une importante quantité d'animaux immolés...

Cette trouvaille sans précédent évoque un rite sacrificiel mentionné dans différents textes grecs. Ainsi, dans *La République* de Platon, Socrate interroge Adimante à propos de rumeurs sur des scènes de cannibalisme qui se seraient déroulées sur le Lykaion, la *« montagne des loups »*. Plusieurs siècles après, Pausanias, géographe du IIe siècle de notre ère, écrit que *« des sacrifices secrets à Zeus Lykaion »* auraient eu lieu sur cette montagne. Le philosophe Porphyre rapporte à son tour dans *De Abstinentia* qu'au cours des fêtes *« lycéennes »*, des sacrifices humains avaient lieu en Arcadie.

Depuis 2004, une équipe gréco-américaine, travaillant sous l'égide de l'École américaine d'études classiques d'Athènes, fouille cet « autel de cendres » où selon David Gilman Romano, professeur d'archéologie à l'université d'Arizona (États-Unis) et codirecteur du projet, *« des sacrifices d'animaux, surtout des chèvres et des moutons, ont fait l'objet d'un culte précoce à Zeus, dès le XVIe siècle avant notre ère »*. Des humains auraient-ils été également immolés ?

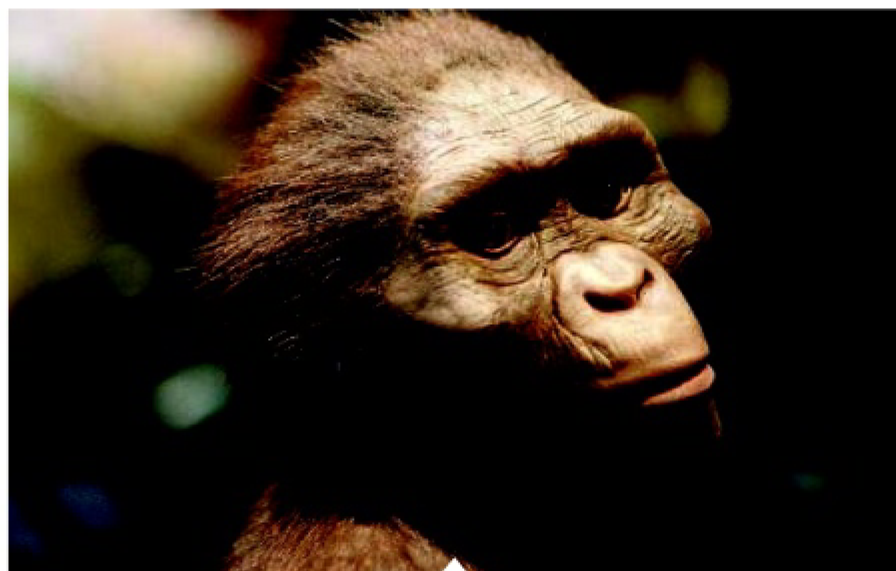

HELLENIC MINISTRY OF CULTURE

Le corps d'un adolescent, mort il y a 3000 ans, est étendu dans une fosse bordée de dalles de pierre parmi les cendres d'animaux immolés à Zeus Lykaion.

Moins d'un dixième du site du mont Lycée a été fouillé

Contacté à Athènes par *Sciences et Avenir*, l'helléniste Pierre Bonnechère, de l'université de Montréal (Canada), auteur des *Sacrifices humains en Grèce ancienne* (1994), salue la trouvaille. En se gardant toutefois d'en tirer des conclusions hâtives. *« Ne faisons pas des amalgames trop rapides entre les mythes et les découvertes archéologiques »*, explique-t-il. *A contrario*, d'autres spécialistes considèrent que l'Occident moderne a une vision trop romantique des anciens Grecs. Ainsi, pour David Gilman Romano, un constat s'impose : *« Quoi qu'il en soit, cet endroit est un autel sacrificiel, pas un cimetière... Pourquoi y avoir enterré ce jeune homme ? »* Seuls 7 % du site du mont Lycée ont pour l'instant été explorés. Les années à venir pourraient livrer d'autres corps, ces travaux devant être poursuivis jusqu'en 2020 selon le ministère grec de la Culture. ■

Bernadette Arnaud
@NarudaaArnaud


M. STRAVATO/AP/SIPA

La petite australopithèque (ici reconstitution) a eu les os brisés par les mouvements des sédiments dans le sol longtemps après sa mort.

Lucy ne s'est pas tuée en tombant d'un arbre

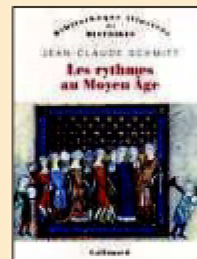
Les fractures du squelette d'hominidé le plus complet jamais découvert relancent les spéculations sur sa mort.

LUCY, L'AUSTRALOPITHÈQUE ARBORICOLE a-t-elle raté une branche ? C'est l'hypothèse de l'anthropologue John Kappelman, de l'université du Texas (Austin, États-Unis), qui estime, après scanner du squelette vieux de 3,2 millions d'années, qu'elle s'est tuée en chutant d'un arbre, récoltant au passage *« de multiples fractures de compression »*. Ce scénario ne résiste toutefois pas à l'examen de Christophe Griggo, de l'université de Savoie-Mont-Blanc. L'archéozoologue et taphonomiste — spécialiste de la fossilisation — estime que les multiples « blessures » portées par Lucy ont été faites *post-mortem* : *« Elles présentent des écrasements correspondant à des mouvements ou à un compactage des sédiments dans le sol. Et l'aspect assez irrégulier des cassures des os longs — comme l'humérus — est caractéristique d'une fracturation sur des os secs, donc survenue longtemps après le décès. »* Lorsqu'un os frais a été brisé, on retrouve à l'inverse des cassures en spirale présentant des surfaces lisses. Rien de tel sur les restes de Lucy.

Ses découvreurs américains Donald Johanson et Tim White sont tout aussi dubitatifs. *« Si les paléontologues devaient appliquer la même logique aux nombreux mammifères dont les os fossilisés ont été tordus, malmenés par les forces géologiques, alors nous aurions aussi des gazelles et des hippopotames, tombant des arbres »*, ironise Tim White. Le mystère sur les circonstances de la mort de Lucy est donc loin d'être éclairci. Mais si le fossile nous est parvenu aussi complet avec ses 52 os, c'est certainement parce qu'il a été enseveli très vite dans les sédiments qui l'ont protégé des altérations climatiques et des charognards. Dans les années 1980, les chercheurs imaginaient même que Lucy, découverte dans les alluvions d'une ancienne rivière, avait pu mourir… noyée. ■ **Rachel Mulot**

@RachelFleaux

Les Rythmes au Moyen Âge

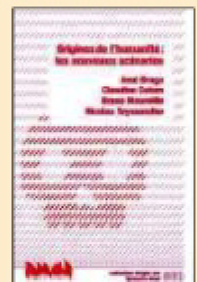


Jean-Claude Schmitt, Gallimard, 720 p., 35 €.

En six parties, autant que les jours de la Création selon la Genèse, l'un des plus grands médiévistes français reconstitue les rythmes qui façonnaient la vie au Moyen Âge à partir des harmonies de couleurs des enluminures, des scansions du chant grégorien, des textes philosophiques ou religieux comme les « rouleaux des morts », sortes de faire-part de décès convoyés de monastère en monastère. Récurrences quotidiennes ou cycles annuels, cadence de la marche qui construit l'espace, tempo de la langue ou âges du monde : pour le Moyen Âge, l'harmonie cosmique se reflète dans le corps et l'esprit de l'homme. Jean-Claude Schmitt nous y entraîne à notre tour et retrouve le souffle qui animait alors la société comme les individus. Magnifique d'érudition et d'intelligence. ■ **Florence Leroy**

À lire aussi notre hors-série « Les villes au Moyen Âge », actuellement en kiosque.

Origine de l'humanité, les nouveaux scénarios



José Braga, Claudine Cohen, Bruno Maureille, Nicolas Teyssandier, La Ville brûle, 206 p., 20 €

D'où vient l'humanité ? Que reste-t-il du propre de l'homme ? Notre ancêtre a-t-il connu un succès évolutif écrasant ? Une historienne et philosophe des sciences, deux paléontologues et un préhistorien débattent des nouveaux scénarios de nos origines, nourris des travaux de paléogénétique.
Une discussion pointue mais éclairante. ■ **R. M.**

BD

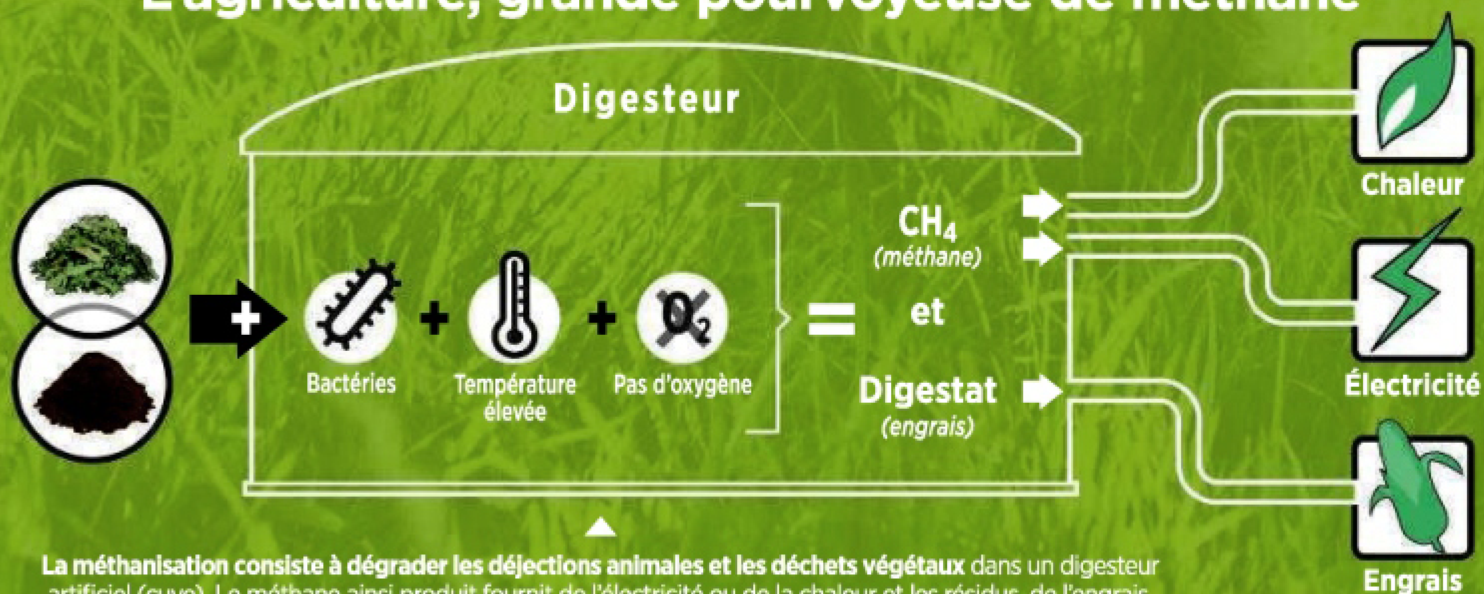
Chronosquad



Gregory Albertini, Giorgio Panaccione, Delcourt, 224 p., 25,50 €

Imaginez un Club Med du futur qui saurait vous conduire vers des destinations éloignées… dans le temps. L'Antiquité, la préhistoire, le Moyen Âge sont désormais à la portée des vacanciers.
C'est la première mission de Télonius Bloch, tout nouvel embauché dans l'équipe des GO et loin de se douter des péripéties qui l'attendent. Tout comme le lecteur, embarqué dans cette aventure temporelle drôle et trépidante. Vivement la suite ! ■ **Hervé Ratel**

Le lisier de porc est une importante source de déchets transformables en énergie par méthanisation.



La méthanisation consiste à dégrader les déjections animales et les déchets végétaux dans un digesteur artificiel (cuve). Le méthane ainsi produit fournit de l'électricité ou de la chaleur et les résidus, de l'engrais.

Biogaz, l'art de transformer les restes

À l'horizon 2050, la France devrait assurer son indépendance en matière de production de gaz. Une révolution qui passe par le développement de quatre technologies de méthanisation.

Par Loïc Chauveau

La France est un pays producteur de gaz. Elle commence juste à s'en apercevoir et à envisager qu'à l'horizon 2050, elle ne devrait plus acheter un seul mètre cube de gaz à la Russie, au Qatar ou à l'Algérie. Indépendante! En effet, le gisement est là, dans nos déchets agricoles, nos eaux usées, et aussi, plus inattendu, dans nos éoliennes et nos panneaux photovoltaïques. D'une part, le biogaz produit de la chaleur et de l'électricité tout en réduisant les émissions de méthane, puissant gaz à effet de serre. D'autre part il propose une solution élégante de stockage des énergies renouvelables intermittentes.

Dans un rapport publié en 2013, GRTgaz, le gestionnaire du réseau de gaz en France, affirme comme possible l'indépendance énergétique avec une production de biogaz de plus de 400 térawattheures (1 TWh = 1 milliard de kWh) en 2050. *« La consommation actuelle étant de 500 TWh, et compte tenu de l'efficacité énergétique qui la fera baisser à 400 TWh, nous affirmons que le gaz sera complètement issu de la biomasse ou des énergies renouvelables avant 2050. Mieux, la production sera locale et créera des emplois »*, assure Philippe Boucly, conseiller spécial chez GRTgaz. Quatre technologies devraient rendre cette promesse réalisable: méthanisation, gazéification et culture de microalgues, toutes trois solutions « vertes »; la quatrième, solution de chimie classique, baptisée méthanation, pourrait être envisagée ultérieurement *(lire p. 58)*.

Potentiel de production de biométhane en 2050

Méthanisation des déchets	210 TWh
Gazéification du bois	280 TWh
Méthanation	35 TWh
Culture des microalgues	25 TWh

1 LA MÉTHANISATION DES DÉCHETS

Quel point commun entre le zoo de Beauval (Loir-et-Cher), les éleveurs porcins du Mené (Côtes-d'Armor), les citoyens trieurs de déchets compostables de Morsbach (Moselle) et les producteurs du fromage de Beaufort (Savoie)? C'est le méthane. Tous exploitent ce biogaz issu de leur activité. À la source, les déjections des lions et des girafes, le lisier de porc, les épluchures de légumes ou le petit-lait. Ensuite, à la façon dont les marais, les rizières et le système digestif des animaux (bovins, insectes...) et des humains fonctionnent, il faut dégrader la matière organique en l'absence d'oxygène. Ce sont des « digesteurs » artificiels *(voir l'infographie ci-contre)* qui assurent cette production de méthane, qui peut ensuite être brûlé pour fournir de l'électricité ou de la chaleur, ou être liquéfié (GNL, gaz naturel liquéfié) pour alimenter des véhicules. Dans le même temps, ils produisent aussi des résidus (les digestats) que les agriculteurs peuvent employer comme engrais organiques. Il n'y a aucune perte. Avec la loi sur la transition énergétique adoptée en août 2015, la France prône enfin cette exploitation. Objectif: faire bondir la production de biogaz de presque rien aujourd'hui (0,02 % de gaz consommé dans le pays) à 10 % dans huit ans. Et parvenir à produire 300 mégawatts d'électricité, 900 000 tonnes d'équivalent pétrole (TEP) de chaleur et injecter l'équivalent de 8 TWh dans le réseau gazier.

Les principaux acteurs concernés sont les agriculteurs dont les fermes, avec leurs déchets de récoltes, excréments d'ani- ▶

LUTTE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Un cercle vertueux

La méthanisation ne permet pas seulement de produire un gaz renouvelable. C'est aussi un moyen efficace de lutter contre le réchauffement climatique. Le méthane est en effet un puissant gaz à effet de serre dont le pouvoir de réchauffement est 25 fois supérieur au CO_2 pour une durée de vie dans l'atmosphère d'environ vingt ans. Avec 7 milliards de tonnes émises tous les ans, le méthane représente 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les principales sources: l'agriculture, les mines de charbon, les sites d'enfouissement de déchets, les installations pétrolières et gazières et les eaux usées.

NEUMANN & RODTMANN/GETTY IMAGES - INFOGRAPHIES: BETTY LAFON

4 MÉTHANATION

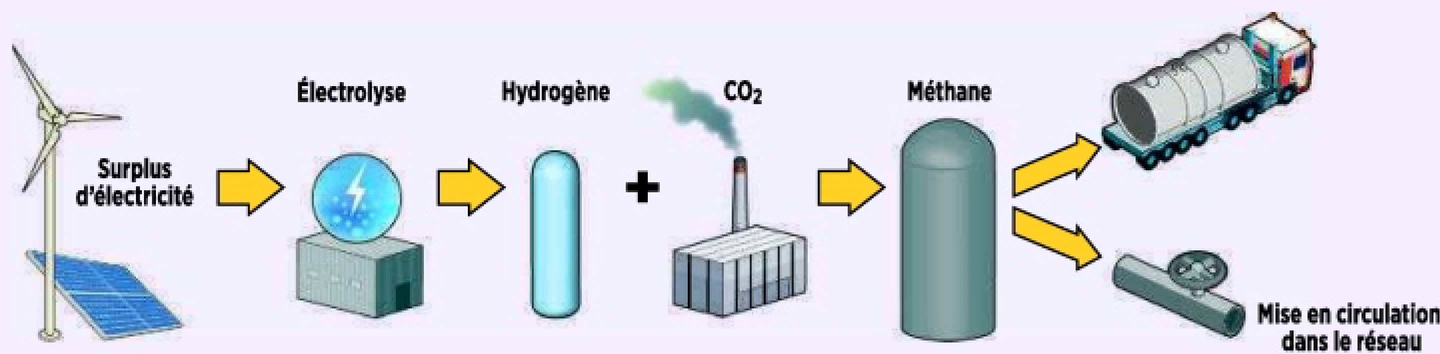
Quand les éoliennes produisent du gaz

Dix-sept sites français testent un nouveau procédé qui permet d'obtenir du méthane à partir des surplus de production d'énergie renouvelable.

GRTgaz vient de lancer au printemps 2016 le projet Jupiter 1000. À Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône), un démonstrateur d'une puissance de 1 MW va utiliser les surplus d'énergie renouvelable pour produire du gaz grâce au recyclage du CO_2 capté sur un site industriel voisin. Le programme doit à la fois tester l'injection directe d'hydrogène dans le réseau et valider la stabilité de la composition du méthane issu de la méthanation. Méthanation ? Ce mot nouveau pourrait bien changer le paysage énergétique mondial. L'essor rapide des énergies renouvelables est aujourd'hui freiné par leurs productions intermittentes. Ainsi, un pays aussi avancé que l'Allemagne connaît des jours de grand déficit de production et d'autres où les électrons produits en trop grande quantité ne trouvent pas preneurs et font chauffer les lignes à haute tension. La méthanation, voilà la solution, pensent les industriels du gaz. Il s'agit d'utiliser l'électricité produite en excès les jours de grand vent et de beau soleil pour dissocier par électrolyse la molécule d'eau afin de fabriquer de l'hydrogène. Celui-ci peut être directement injecté dans le réseau de gaz si on ne dépasse pas une teneur de 6 %. *« Mais il peut aussi être recombiné avec du dioxyde de carbone provenant de la cheminée d'une usine proche pour refaire du méthane injectable à l'infini dans le réseau* [voir l'infographie], expose Sylvain Lemelletier, directeur de projet transition énergétique à GRTgaz. *Nos 32 000 kilomètres de canalisations peuvent ainsi aisément stocker l'électricité sous forme de gaz, transporter cette énergie sur de grandes distances pour être de nouveau transformée en électricité près des lieux de consommation. »*
Le projet Jupiter n'est pas le seul à explorer cette voie. Dans la banlieue de Dunkerque (Nord), Engie pilote le projet GRHYD d'injection de gaz dans le réseau. Mais une partie de la production est également liquéfiée pour alimenter les véhicules municipaux. Il existe à ce jour en France 17 points d'injection de gaz dans le réseau. C'est un tout début. Selon l'Ademe, en 2050 les surplus de production d'électricité sont estimés entre 44 et 91 milliards de kWh selon les scénarios. La méthanation pourrait en stocker de 21 à 72 milliards de kWh. L'industrie du gaz imagine déjà un millier d'installations de 10 MW sur tout le territoire qui fonctionneraient 2500 heures par an. L'Allemagne multiplie aussi les sites d'expériences. La méthanation pourrait en effet régler le problème d'un pays qui a sa production éolienne au nord et la consommation au sud. Les lignes électriques à haute tension nécessaires pour transporter l'énergie butent sur les oppositions locales des régions traversées. Les canalisations de gaz seraient alors une solution.


GRTGAZ

« Nos 32 000 km de canalisations peuvent aisément stocker l'électricité sous forme de gaz »
Sylvain Lemelletier, directeur du projet transition énergétique à CRTgaz



L'excédent d'électricité est utilisé pour effectuer une électrolyse qui, en cassant la molécule d'eau, produit de l'hydrogène. Celui-ci, recombiné à du CO_2 provenant par exemple de cheminées d'usine, donne du méthane qui peut être injecté dans le réseau ou transporté sous pression avant d'être retransformé en électricité.

maux d'élevage, cultures réservées, etc., devraient assurer 90 % de la production. Avec une estimation de 56 TWh en 2030, le monde agricole français a désormais beaucoup à faire. Il n'y a que 130 méthaniseurs agricoles environ sur le territoire quand l'Allemagne en exploite près de... 10 000 ! *« C'est oublier que ces pays ont fait des choix différents*, tempère Jean-Marc Onno, membre de l'Association des agriculteurs méthaniseurs de France (AAMF) et producteur de biogaz à Guernequay (Morbihan). *L'Allemagne recourt au maïs, quand la France mise sur la valorisation de tout type de déchets. Un recyclage plus vertueux mais plus difficile à mettre en place.* » Alors que les digesteurs allemands traitent une ressource homogène, ceux de France doivent méthaniser toutes sortes de mélanges impliquant une gestion microbienne bien plus fine. *« Les difficultés techniques rencontrées par les pionniers sont en passe d'être résolues et le déploiement de digesteurs adaptés peut commencer »*, assure Olivier Dauger, référent énergie-climat à la FNSEA.

C'est pour appuyer cette diffusion que le pôle de compétitivité Biogaz Vallée a été créé dans l'Aube. Aide à la recherche, conseil aux porteurs de projets permettant d'adapter les méthaniseurs aux ressources des différents territoires : *« Le contexte local est important tant dans le choix des déchets que dans celui de la logistique*, explique Grégory Lannou, directeur de Biogaz Vallée. *Il faut exporter le biogaz avec le réseau si ce dernier est proche, sinon par camion, ce qui impose la liquéfaction.* »

Pour ce qui est de la recherche, il reste beaucoup à faire. Les performances des animaux demeurent ainsi inégalées : *« Quand nous avons comparé l'efficacité du rumen d'un bovin ou le système digestif d'un termite avec celle d'un méthaniseur, nous avons vu que le système digestif de la vache est deux fois plus productif en méthane, celui du termite quatre fois plus »*, expose Jean-Philippe Steyer, directeur du Laboratoire de biotechnologie de l'Environnement de l'Inra à Narbonne (Aude). *« Une efficacité due à des millions d'années d'adaptation des organismes à leur alimentation »*, que les chercheurs doivent comprendre *« pour la reproduire »*. Populations bactériennes tapissant les intestins (les microbiotes), forme de l'appareil digestif lui-même, enzymes intervenant dans la digestion..., il faut tout étudier. Notamment pour obtenir, outre le biogaz, ces molécules à haute valeur ajoutée que sont l'acétate, un réactif très utilisé dans l'industrie, et le lactate, additif de l'agroalimentaire.



MATTEIS / LOOKAT SCIENCES

Des sociétés misent de plus en plus sur les microalgues (ici Phytosource) dont est extraite de l'huile utilisée dans les laboratoires pharmacteutiques ou cosmétiques. Leurs résidus sont ensuite méthanisés.



C.FAIMALI/ARGOS/PICTUREBANK

Le bois pyrolisé à très haute température dégage un gaz de synthèse qui, recombiné, donne un méthane injectable dans le réseau (ici une usine de gazéification en Autriche).

2 LA GAZÉIFICATION DU BOIS

Qui se souvient que durant la Seconde Guerre mondiale, la France a roulé au gazogène ? Les véhicules étaient affublés d'une chaudière alimentée au bois dont la combustion produisait un gaz compatible avec les moteurs. C'est — en plus sophistiqué — ce que propose la gazéification. À des températures élevées situées entre 600 et 1800 °C, la matière carbonée est pyrolysée, sa décomposition par la chaleur permettant d'obtenir un gaz de synthèse composé principalement de monoxyde de carbone et de dihydrogène que l'on va recombiner. On obtient ainsi un méthane manufacturé injectable dans le réseau. Les massifs forestiers français sous-exploités constituent un gisement pour cette technologie ainsi que des déchets comme la paille ou des résidus de l'industrie papetière. L'Ademe estime ainsi le potentiel de production à 100 TWh en 2020, jusqu'à 250-280 TWh en 2050. Soit la moitié de la consommation actuelle de gaz naturel. Une plate-forme de démonstration baptisée GAYA a été installée à Saint-Fons (Rhône). Elle doit permettre de simuler l'ensemble de la future filière, de l'approvisionnement en bois à la valorisation tant par injection dans le réseau que comme biocarburant.

3 LA CULTURE DES MICROALGUES

C'est un gisement hypothétique, jugé attractif dans quelques décennies. Les microalgues, cultivées dans de grands bassins — les raceways — oxygénés et exposés au soleil où elles se multiplient très vite, contiennent des huiles qui fournissent des molécules d'intérêt pour la cosmétique et la pharmacopée. Une fois l'huile extraite, il reste de grandes quantités de résidus que l'on peut méthaniser. Selon une étude de GRDF, ces coproduits de fabrication pourraient fournir 21 TWh à partir de 2030. Encore faut-il que les raceways se multiplient, principalement dans le sud de l'Europe ou l'ensoleillement est suffisant. ■

Nous sommes entrés dans l'anthropocène

Ce changement d'époque dans l'histoire géologique de la Terre consacre le fait que l'homme a profondément modifié son environnement.


AKG - IMAGES

Le début des explosions nucléaires (ici, le test d'une bombe atomique américaine en 1952, aux îles Marshall) pourrait, selon certains chercheurs, être retenu comme l'événement marquant l'entrée dans une nouvelle époque géologique.

Le 30 août, au Cap (Afrique du Sud), l'humanité a peut-être changé d'ère. Lors du Congrès international de géologie, le groupe de géologues, océanographes et physiciens qui planche sur la question depuis 2009 a livré ses conclusions. Sur les 35 membres de la commission, 30 ont voté pour l'entrée de la Terre dans l'anthropocène, nouvelle époque de son histoire géologique. Elle succède à l'holocène, qui a débuté à la fin du grand âge glaciaire, il y a 11 700 ans.

Ce changement d'époque consacre le fait que l'homme a profondément modifié son environnement. *« Surtout depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, les explosions nucléaires, la dispersion de plastiques, l'accroissement de la combustion de charbon et de pétrole ainsi que de la consommation de béton, entre autres, sont des phénomènes dont des géologues pourront encore voir les traces dans des millions d'années »*, explique Catherine Jeandel, directrice de recherche au CNRS et membre du groupe de travail sur l'anthropocène.

L'holocène a débuté avec un changement climatique naturel ; l'anthropocène, lui, est directement provoqué par les habitants de la planète. C'est bien ce qui chagrine nombre de géologues qui, sans nier l'impact de l'humanité, contestent qu'une nouvelle ère puisse en découler. En effet, les ères géologiques ont toujours été délimitées par des épisodes globaux, comme la disparition des dinosaures il y a 66 millions d'années, marquant le passage du crétacé supérieur au paléocène.

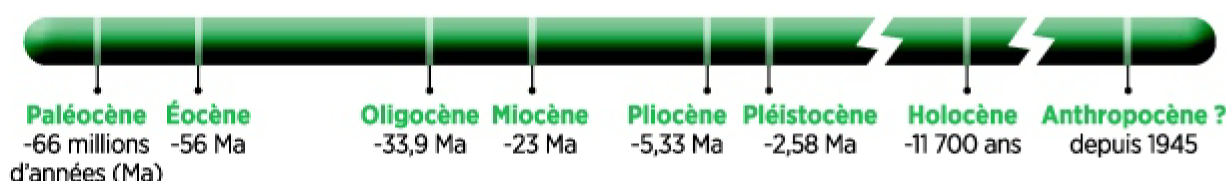
L'humanité, juge et partie ?

Les opposants font remarquer que les divisions qui découpent les 4,5 milliards d'années de l'histoire de la Terre se mesurent en millions d'années. *« N'est-on pas en train de confondre géologie et histoire humaine ? »*, se demande ainsi Stanley Finney, géologue de l'université de Californie dans un article publié par la Société américaine de géologie. En l'espèce, ce sont les responsables des atteintes globales aux équilibres de la planète qui décident d'un changement géologique provoqué par eux. Juges et parties ?

C'est peut-être ce qui explique la difficulté de choisir ce que l'on appelle un « clou d'or ». Chaque début d'ère géologique doit être en effet marqué par un « point stratotypique mondial », c'est-à-dire une particularité inscrite dans les couches de la Terre trahissant un phénomène ayant changé l'environnement planétaire, mesuré à un point précis du globe. Ainsi l'holocène a débuté par un brusque effondrement des valeurs en deutérium, enregistré à 1492,25 m de profondeur sur le site de forage du NorthGRIP sur l'inlandsis du Groenland. Dispersion de plastiques, explosions nucléaires, début de l'industrialisation : quel « clou d'or » pour l'anthropocène ? Les géologues se sont donné jusqu'à leur prochain congrès international, dans quatre ans, pour trancher la question. ■

Loïc Chauveau

8 époques géologiques depuis la disparition des dinosaures



Sauveteur du patrimoine marin

C'est à un projet hors norme que Benedict Donnelly s'est attelé : construire la réplique de « L'Hermione », la frégate de La Fayette. De 1997 à 2013, 4,5 millions de donateurs l'ont rendu possible.



FRANCIS LATREILLE

Benedict Donnelly a été président de l'association Hermione-La Fayette de 1994 à 2016.

Benedict Donnelly n'en revient toujours pas. *L'Hermione* vogue bel et bien et a même refait en 2015 le voyage vers l'Amérique que La Fayette avait entrepris en 1780. Et si cette réplique de la légendaire frégate a pu prendre les flots, c'est bien parce que des milliers de personnes se sont mobilisées à travers une opération de financement participatif inédite. Entre 1997 et 2013, 4,5 millions de donateurs venus de tous horizons ont apporté leur obole pour que le chantier soit achevé... avec un budget de plus de 40 millions d'euros ! *« Les collectivités ont versé 30 % de l'investissement, le public 70 % ! »*, se réjouit le président de la fondation Hermione-La Fayette qui vient de passer la main, mission accomplie. Ce projet de reconstitution du patrimoine marin français est né de la restauration de la corderie royale de Rochefort-sur-Mer (Charente-Maritime) et de son bassin de radoub, un chantier achevé en 1986 après dix ans de labeur. *« Il nous a semblé qu'il fallait trouver une utilité à ce lieu où ont été fabriqués 450 navires pendant plus de deux siècles entre 1660 et 1920 »*, poursuit l'initiateur de l'entreprise. Sous la houlette du charpentier naval Edmond Labbé, les plans de *L'Hermione* sont reconstitués et une société spécialisée dans les charpentes d'église accepte de s'engager dans l'aventure. *« Cette entreprise a surtout bien voulu que l'avancée dépende uniquement des rentrées d'argent provenant des donateurs et des visiteurs sur place*, se souvient Benedict Donnelly. *Nous nous sommes très vite aperçus que les gens ne venaient pas à Rochefort-sur-Mer pour admirer la petite exposition que nous avions montée sur la guerre d'Indépendance des États-Unis à laquelle* L'Hermione *a participé. Ils venaient voir le travail des charpentiers ! »*

En 1997, la pose des premiers éléments de quille est un événement. Dès la troisième année, 100 000 curieux se pressent sur les pontons installés aux abords du chantier. Un village d'artisans se crée à partir de la corderie, des voileries et du travail du bois. Les ouvriers travaillent sous l'œil de milliers de curieux auxquels ils doivent leur salaire. *« Crédibilité, cohérence et rigueur ont été les maîtres mots du projet qui a continuellement été suivi par les historiens*, rappelle Benedict Donnelly. *C'est ce que les gens attendaient de nous : de la vérité historique. »*

Au cours des années 2000, *L'Hermione* est visitée chaque année par 250 000 passionnés quand le musée de la Marine à Paris plafonne à... 30 000. En 2015, le navire sort enfin de la Charente. Toute la région vient assister à son entrée en mer. 80 bénévoles et 20 professionnels sont nécessaires pour manœuvrer ces kilomètres de cordages et ces tonnes de voiles. *« Ce bateau, c'est la cathédrale de Rochefort ! »*, s'enorgueillit Benedict Donnelly.

L'Hermione continue à faire appel aux dons pour mener à bien des projets de voyage pour les dix ans à venir*. Avec deux mots d'ordre : culture et citoyenneté. ■

Loïc Chauveau

* www.hermione.com



FABIENNE HERREYRE / CITIZENSIDE

MARINE À VOILE

Un fameux trois-mâts

Longue de 65 m, large de 11 m, *L'Hermione* était sortie des cales de Rochefort-sur-Mer après onze mois de construction en 1779. Avec ses trois mâts, ses 1500 m² de voilure et ses 26 canons, c'était alors le navire de guerre le plus rapide. Il s'est illustré lors de la guerre d'Indépendance des États-Unis avant de couler dans l'embouchure de la Loire à la suite d'une erreur de navigation en 1793. Sa réplique a été réalisée par la fondation Hermione-La Fayette.

Le corail a besoin de l'urine des poissons

Les chercheurs ont mesuré l'apport en nutriments de 143 espèces de poisson, sur 110 sites.

L'URINE DE POISSON est indispensable à la santé et à la croissance des coraux, montre une étude de l'université de Washington (Seattle, États-Unis). Elle leur apporte en effet deux nutriments indispensables, le phosphore et l'azote. Or ceux-ci proviennent essentiellement des plus gros prédateurs (mérou, barracuda, vivaneau, congre vert), qui sont aussi les plus pêchés. Les chercheurs ont mesuré l'apport en nutriments de 143 espèces de poisson, sur 110 sites coralliens des Caraïbes, victimes de la surpêche ou, au contraire, protégés. Concrètement, l'écologue Jacob Allgeier a passé quatre ans à analyser l'urine de centaines de spécimens. De leur côté, Abel Valdivia, du Centre pour la diversité biologique, une ONG américaine, et Courtney Cox, de la Smithsonian Institution (Washington), *« ont photographié minutieusement les récifs coralliens de la Floride à Cuba, recensant les diverses espèces qui y vivaient »*.

Conclusion ? Ce n'est pas tant le nombre d'espèces de poissons visitant ou habitant le corail qui importe, mais leur taille. *« L'apport en nutriments baisse de 50 % dans les zones où l'on capture les gros prédateurs »*, soulignent les auteurs. En effet, les rejets d'azote varient avec la taille des poissons, tandis que les carnivores excrètent plus de phosphore que les herbivores. Mieux : ces poissons jouent un rôle clé dans le recyclage des nutriments... Sans eux, le « nettoyage » ne se fait plus et tout le cycle est perturbé. Si reconstituer les populations de poissons est vital pour notre sécurité alimentaire, il ne suffit pas de se soucier de leur biodiversité, concluent les auteurs : *« Il faut intégrer les impacts prévisibles de la pression de pêche sur la dynamique des nutriments. »* ■

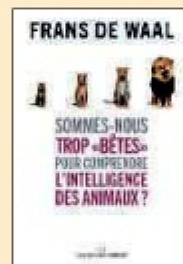
Rachel Mulot
@RachelFleaux



J. ALLGEIER/UNIVERSITY OF WASHINGTON

La taille des poissons joue un rôle dans l'apport en azote.

Sommes-nous trop « bêtes » pour comprendre l'intelligence des animaux ?



Frans de Waal, Les Liens qui libèrent, 406 p., 23,80 €

Ah ! le *« boulet de la pensée cartésienne »* qui a longtemps occulté ce que nous ne voulions pas voir chez les animaux : leurs capacités cognitives, leur intelligence, détaille ici l'éthologue Frans de Waal, de l'université Emory d'Atlanta (États-Unis). Chaque mois, de nouvelles études montrent des rats regrettant des décisions, des pieuvres reconnaissant des visages humains, des neurones spécifiques permettant aux singes d'apprendre des erreurs des autres. On parle désormais de culture, d'empathie, d'amitiés et même de rationalité chez des animaux. Le chercheur excelle à raconter les mille tests imaginés par les scientifiques. ■ **R. M.**

Comment fait le gecko pour marcher au plafond ?



Serge Berthier, Belin, 238 p., 26 €

La nature cache bien son jeu. L'aile d'un papillon, la nageoire d'un poisson ou encore la patte d'un lézard abritent d'étonnantes structures, à la fois complexes et infiniment petites (de l'ordre du milliardième de mètre). Ces nanostructures, qui échappent forcément à l'œil du naturaliste, jouent pourtant un rôle fondamental : ici elles servent à climatiser un papillon, là à faire tenir un gecko au plafond et chez cette crevette-mante elles polarisent la lumière pour communiquer avec son partenaire sexuel. C'est ce que nous raconte en détail et en images le physicien Serge Berthier dans cet ouvrage pour passionnés du nanomonde. ■ **Olivier Hertel**

DVD

La Ligne de partage des eaux



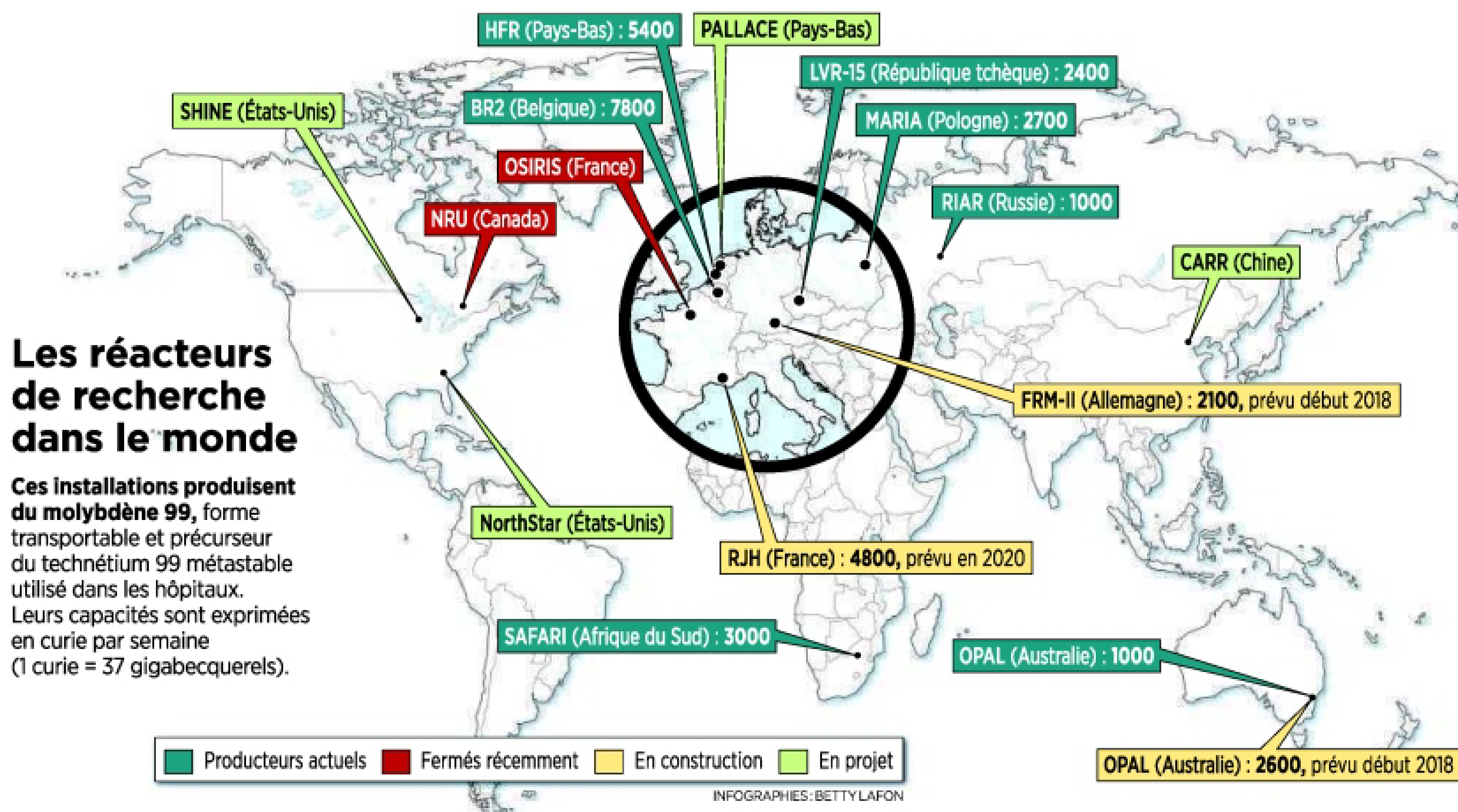
Dominique Marchais, Les Films du losange, 128 min, 20 €

Comment se façonne le territoire français ? Dans quelle mesure les éléments naturels et les besoins des habitants sont-ils pris en compte ? À partir d'un exemple concret, l'aménagement du bassin-versant de la Loire, ce film montre quels tensions, conflits et compromis se jouent entre les différents acteurs politiques, économiques et associatifs à propos de la création d'une zone industrielle ou de la préservation d'une zone humide. Un sujet que l'on penserait réservé aux spécialistes, mais que ce documentaire rend accessible à un large public. ■ **Isabelle Do O'Gomes**

La médecine nucléaire sous tension

Va-t-il y avoir pénurie d'éléments radioactifs pour les examens d'imagerie médicale après la fermeture d'Osiris, réacteur français jugé vétuste ? Pour l'éviter, de nouvelles installations à l'étranger pourraient prendre le relais.

Par Franck Daninos



Les réacteurs de recherche dans le monde

Ces installations produisent du molybdène 99, forme transportable et précurseur du technétium 99 métastable utilisé dans les hôpitaux. Leurs capacités sont exprimées en curie par semaine (1 curie = 37 gigabecquerels).

On les appelle des « vaches à technétium ». Ces petits conteneurs, de la taille d'une batterie de voiture sont livrés une ou deux fois par semaine dans les 229 centres français de médecine nucléaire. Chaque matin, des personnels formés à la préparation des médicaments dits radiopharmaceutiques y prélèvent, après lavage en solution saline, des doses de molybdène 99, qui se transforme en technétium 99 métastable. Celui-ci peut alors être associé à des dizaines de biomolécules qui se fixent à divers tissus autorisant ainsi des examens d'imagerie médicale : cœur, poumon, rein, squelette, etc. Injectées par voie intraveineuse aux patients, elles permettent de visualiser le fonctionnement des organes ou de détecter des cancers. La plupart des examens en médecine nucléaire utilisent désormais ce radioélément, soit 100 000 « scintigraphies » réalisées chaque jour dans le monde, dont 4000 en France *(lire l'encadré p. 67)*.

Mais ces délicates « vaches », sans lesquelles le suivi de nombreuses maladies ne serait plus aussi performant, ont suscité l'inquiétude ces derniers mois. La France a en effet fermé en décembre 2015 le réacteur Osiris du CEA, à Saclay (Essonne), qui fournissait le précieux ▶

GJLP/CNRI/SPL/COSMOS

L'ÉLÉMENT CHIMIQUE TECHNÉTIUM 99M

Découverte. Le technétium 99 métastable a été isolé en 1938 par les physiciens Glenn Seaborg et Emilio Segré. C'est une forme radioactive du technétium, premier élément chimique à avoir été produit de manière artificielle.

Propriétés. Ses noyaux possèdent 43 protons et 56 neutrons. La moitié se désintègre au bout de 6 heures, la quasi-totalité en deux jours et demi. Ils émettent des rayons gamma constitués de photons d'une énergie bien déterminée (141 kiloélectronvolts).

Utilisation. La rapidité de sa désintégration et la faible énergie des rayons émis permettent de l'utiliser comme traceur à visée diagnostique. Les tissus sur lesquels il se fixe sont visualisés par des gamma-caméras tournant autour du patient.

◄ Le technétium 99M, associé à des molécules phosphatées puis injecté au patient, permet de procéder à des scintigraphies osseuses afin de détecter les métastases (zones brillantes) d'un cancer (ici, de la prostate).

isotope. Trop vieux, a décrété l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Et « *la production mondiale n'est assurée que par sept autres installations* », explique Guy Turquet de Beauregard, président de l'Association européenne de producteurs de moyens d'imagerie médicale (AIPES). *(Voir la carte p. 64.)* Or le réacteur canadien NRU, dont la mise en service remonte aux années 1950, suspend lui aussi sa production dès ce mois d'octobre !

Des installations très anciennes

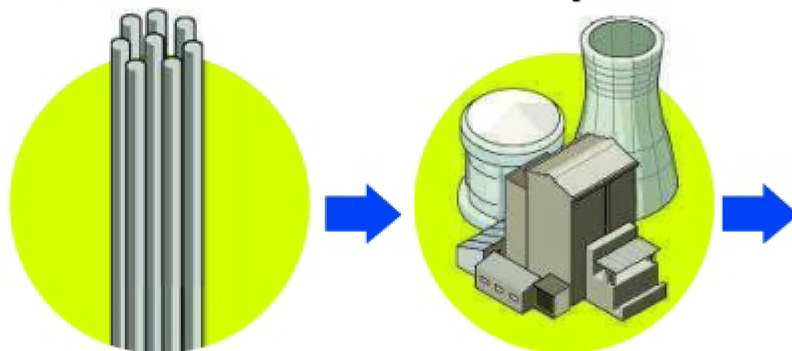
De quoi faire craindre à certains une rupture d'approvisionnement. D'autant que la plupart des installations sont elles aussi très anciennes et « *connaissent des arrêts, planifiés ou non, de plus en plus longs et fréquents* », s'inquiétait l'Académie de médecine dès 2014. Faire des stocks ? Impossible ! la moitié des noyaux de molybdène 99 se désintègre en moins de trois jours… D'où la nécessité d'une livraison régulière des « vaches à technétium » aux hôpitaux, et d'une chaîne d'approvisionnement qui fonctionne à flux tendu *(voir l'infographie ci-contre)*.

Seulement voilà : aucun des réacteurs produisant du molybdène 99 n'a été conçu à des fins médicales. Tous sont en effet des outils de recherche bien antérieurs à l'explosion des techniques d'imagerie. Appartenant à des États ou à des organisations comme la Commission européenne ou l'Otan, ils sont destinés à tester, grâce à des flux de neutrons, le comportement d'équipements et de combustible pour les centrales électriques ou le nucléaire militaire. Or quand la médecine nucléaire a émergé dans les années 1960, eux seuls étaient à même de produire du molybdène 99, en irradiant de l'uranium avec ces flux de neutrons. La production était alors suffisante pour couvrir les besoins mondiaux et certains équipements sont donc devenus fournisseurs. Mais aucun pays ne s'est décidé pour en construire d'autres. Car l'uranium requis étant de qualité potentiellement militaire, les gouvernements — États-Unis en tête — ont joué de leur influence pour prévenir tout risque de prolifération nucléaire. « *La médecine nucléaire s'est ainsi développée en marge des activités des réacteurs d'essai, ce qui a créé un paradoxe : des fonds gouvernementaux destinés aux centrales électriques, voire au nucléaire militaire, subventionnaient une activité de santé mondiale… à laquelle les industriels fabriquant les générateurs à technétium prenaient également part* », explique Jean-Philippe Vuillez, président de la Société française de médecine nucléaire. Qui plus est, le coût réel du molybdène 99 n'était pas pris en compte. Schématiquement, les exploitants des réacteurs vendaient une dose 1 €… alors qu'elle en coûtait 4 ou 5 à produire. Un tel système a découragé tout investissement visant à développer la filière.

Un plan de bataille à l'échelle internationale

Il a fallu une panne simultanée en 2009 des réacteurs néerlandais et canadien pour que ces failles apparaissent brusquement au grand jour. Au niveau mondial, l'approvisionnement est soudain devenu très difficile. « *Nous devions, chaque matin, trouver des solutions de remplacement et réserver le peu de technétium que nous recevions aux cas les plus urgents : une vraie gageure* », se souvient Dominique Le Guludec, chef du service de médecine nucléaire de l'hôpital Bichat, à Paris. Heureusement, la pénurie n'a duré que quelques semaines et il n'y a pas eu de conséquences sanitaires. Seulement un surcroît de travail et des surcoûts pour les hôpitaux. Mais la filière en est ressortie restructurée. « *Il y a eu prise de conscience que nous ne pouvions pas nous passer de technétium*

Des réacteurs nucléaires aux hôpitaux



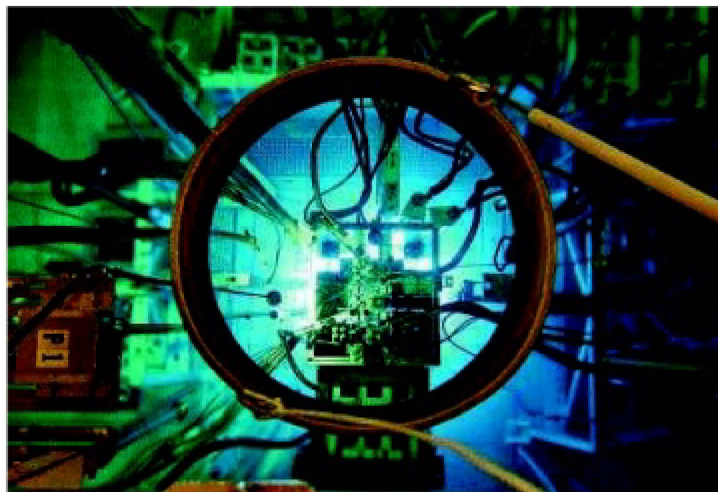
1 URANIUM ENRICHI Des cylindres d'uranium 235 hautement enrichi, de la taille d'un crayon, sont fournis aux réacteurs de recherche. Bon nombre sont fabriqués, pour le marché mondial, dans le sud-est de la France par une filiale d'Areva.

2 RÉACTEURS D'ESSAI L'uranium est bombardé pendant 5 à 7 jours par des neutrons. Les noyaux se brisent et produisent des radioéléments, tels le molybdène 99, l'yttrium 90 ou l'iode 131.

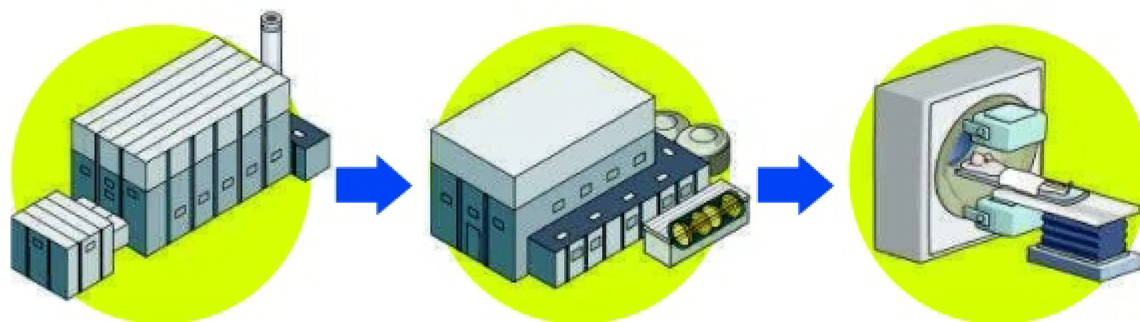
PRODUCTION

Osiris ne sera pas remplacé avant 2020

En France, le réacteur Jules-Horowitz (RJH) devait prendre le relais d'Osiris (*photo ci-dessous*), fermé en 2015. Les travaux ont débuté en 2007 au CEA à Cadarache (Bouches-du-Rhône), mais le RJH ne sera prêt… qu'en 2020 ou 2021. Un retard dû à des difficultés techniques et organisationnelles ainsi qu'aux exigences de l'Autorité de sûreté nucléaire, revues à la hausse. Résultat : le budget a plus que doublé : 1,4 milliard d'euros. Le RJH produira des flux de neutrons afin d'étudier, sous irradiation, le comportement de matériaux et d'éléments fissiles pour les réacteurs électronucléaires de 2ᵉ, 3ᵉ ou 4ᵉ génération. Mais ces neutrons serviront aussi à bombarder des cibles d'uranium enrichi. Le RJH fabriquera ainsi des radioéléments utiles au secteur médical.



L. GODART/CEA



3 USINES À MOLYBDÈNE Les cibles irradiées sont transportées vers une usine de traitement. Elles sont dissoutes puis une séparation chimique est effectuée, deux jours durant, afin d'isoler le molybdène 99 d'autres produits de fission.

4 USINES À GÉNÉRATEURS Le molybdène 99 est purifié selon des normes très strictes édictées par les agences du médicament. Il est fixé à une résine échangeuse d'ions, puis conditionné dans des générateurs appelés « vaches à technétium ». Cette étape dure 24 heures.

5 HÔPITAUX Les radiopharmaciens rincent cette résine, et prélèvent le technétium 99 métastable qui se forme à partir du molybdène 99. Il peut alors être combiné à des biomolécules, injectées aux patients.

et que le système était aussi fragile qu'obsolète », explique Jean-Philippe Vuillez. Un plan de bataille, à l'échelle internationale, a été mis sur pied. L'OCDE s'est saisie du problème afin de coordonner les acteurs mondiaux et les investissements à venir. La filière a été « rationalisée » sur le plan économique, en valorisant le molybdène 99 à son prix réel. Et en 2012, un Observatoire européen des radio-isotopes médicaux a été créé par la Commission européenne et les industriels concernés afin de veiller à ce que les productions s'étalent sur l'année et que les pays de l'Union soient traités sur un pied d'égalité. Depuis, les États coopèrent pour anticiper les crises éventuelles. Ainsi, quand la décision de fermer Osiris a été maintenue en 2015 en dépit des inquiétudes exprimées par l'AIPES ou l'Académie de médecine, les Canadiens ont aussitôt annoncé qu'ils reportaient la fermeture définitive de leur propre réacteur à 2018 afin de produire à nouveau du molybdène 99 si le besoin s'en faisait sentir. « *C'est pourquoi nous connaîtrons sans doute en cette fin 2016, et pendant un peu plus d'un an, une période un peu fragile, mais le risque de pénurie est considéré à présent comme faible* », assure Dominique Le Guludec.

De nombreux projets fleurissent dans le monde

Début 2018, l'horizon devrait s'éclaircir : un réacteur (FRM-II) en cours de réaménagement à Munich (Allemagne) doit commencer à fabriquer du molybdène 99 ; tandis que celui d'OPAL, en Australie, augmentera ses capacités de 160 %. Surtout, la France s'apprête à revenir dans le jeu. Le réacteur Jules-Horowitz (RJH), en construction à Cadarache(Bouches-du-Rhône), devrait entrer en service en 2020 pour couvrir la moitié des besoins européens (*lire l'encadré p. 68*). Et de nombreux autres projets, plus ou moins avancés, fleurissent dans le monde pour faire face à une forte croissance de la demande dans les années à venir, surtout en Afrique et Asie. Aux États-Unis, deux sociétés — Northstar Medical Radioisotopes et Shine Medical Technologies — rivalisent même pour être la première à produire du technetium 99 sur le sol américain... sans réacteur de recherche, ni uranium enrichi. L'un des procédés qu'elles développent consiste à transformer, au moyen d'accélérateurs de particules, du molybdène 100 (naturel) en molybdène 99. Une autre vise à obtenir ce dernier en irradiant du molybdène 98 avec un neutron. « *Ces projets sont entourés de secret en raison des enjeux commerciaux : on ne sait pas exactement quand ils arriveront à maturité industrielle*, précise Guy Turquet de Beauregard. *Peut-être dès 2017... Ce qui semble certain, c'est qu'aucun radio-isotope ne détrônera le technétium 99 dans les dix ou quinze ans à venir.* » ■

TECHNOLOGIE

Les atouts du technétium 99

L'omniprésence du technétium 99 lors des examens d'imagerie est due à ses nombreux atouts. Comme tous les éléments radioactifs, il décroît avec le temps, mais avec une grande rapidité : la moitié se désintègre au bout de six heures. Cette particularité permet aux composés injectés de migrer dans l'organisme vers leurs cibles sans irradier le patient trop longtemps. En se désintégrant, le technétium 99 émet en effet des rayonnements analysés par une technique dénommée « tomographie d'émission monophotonique » (TEMP). Les images 3D qui en résultent fournissent des données physiologiques qui complètent d'autres méthodes d'imagerie, tels l'IRM ou l'échographie. Et dans certains cas, comme pour la détection du ganglion dit sentinelle chez des personnes atteintes du cancer du sein, cette technique est irremplaçable. Autre avantage, le fait que l'on puisse l'associer à une trentaine de biomolécules reconnaissant divers organes, tissus et lésions, ce qui permet d'identifier de nombreuses pathologies. Enfin, son prix relativement modeste, d'une quinzaine d'euros pas dose, pour un examen facturé entre 250 et 300 €.

Nir Barzilai, endocrinologue

En guerre contre le vieillissement

Ce spécialiste reconnu de la longévité lance un essai clinique pour prouver qu'il existe bien des facteurs protecteurs des maladies liées à l'âge.

Cheveux gris et chemise bleue, Nir Barzilai a le regard franc et la blague facile. Il fredonne Joe Dassin, Adamo ou France Gall. *« Si un jour j'ai la maladie d'Alzheimer, j'aimerais que ma famille me fasse écouter des chansons françaises car ça stimule la mémoire à long terme ! »*, assure-t-il, facétieux. Alzheimer, il compte pourtant bien y échapper, grâce à un traitement unique qui préviendrait d'une manière globale les maladies liées à l'âge. Avec un groupe de chercheurs spécialistes du vieillissement, il tente en effet de convaincre la FDA (Food and Drug Administration), l'agence sanitaire américaine, que le vieillissement et ses maladies associées doivent être considérés comme une nouvelle cible pour favoriser le développement de traitements. Autrement dit — et pour la première fois — que vieillir est une pathologie que l'on peut combattre. *« Un nouveau paradigme »*, affirme-t-il.

Dans les couloirs de l'Albert Einstein College of Medicine, paquebot de verre posé sur une pelouse verdoyante du Bronx, au nord-est de Manhattan, Nir Barzilai, considéré comme une sommité mondiale dans son domaine, court d'un rendez-vous à l'autre. À son agenda est inscrite la mise au point d'un essai clinique unique au monde qui visera à montrer *« qu'une molécule peut retarder l'apparition de toutes les maladies dont l'incidence augmente avec l'âge »*. Son nom : la metformine, un médicament très connu qui diminue la résistance à l'insuline dans le traitement du diabète de type 2. *« J'étais sceptique au départ*, confie sa collaboratrice Sofiya Milman, professeure assistante, *mais les études qui montrent que la metformine protège contre le cancer, les maladies cardio-vasculaires et toute cause de mortalité m'ont convaincue. »* Même si son mécanisme est encore inconnu.

BIO EXPRESS

1955 Naissance à Haïfa (Israël).

1976-1985 Membre du service de santé des forces spéciales de l'armée israélienne.

1985 Doctorat de médecine au Technion-Israel Institute of Technology.

1993 - 2016 Instructeur, puis professeur (endocrinologie) à l'Albert Einstein College of Medicine (New York).

2002 Fondateur et directeur de l'Institute of Aging Research.

2006-2016 Lance le longevity Genes Project et découvre des gènes liés à la longévité humaine.

2016 Lance l'essai clinique TAME (Targeting Aging with Metformin).

Une capacité à faire ce que l'on veut sans peur

En investisseur prévoyant, Nir Barzilai a déjà cofondé la start-up CohBar pour développer de futurs médicaments contre le vieillissement. Mais pour l'heure, l'objectif n'est pas de faire fortune. L'étude TAME (Targeting Aging with METformin) est financée par une association à but non lucratif, l'AFAR (American Federation for Aging Research). *« Personne ne gagnera d'argent si ce médicament prouve son efficacité car la metformine est un générique qui coûte quelques centimes la dose seulement »*, assure le chercheur. Nir Barzilai sort de la poche de sa blouse un flacon du médicament, qu'il s'auto-administre tous les jours. *« C'est un hasard, j'ai une prédisposition pour le diabète ! »* lance-t-il dans un sourire.

Cette vocation de médecin-pionnier lui vient, selon lui, d'une *« interaction gènes-environnement »*. Né à Haïfa en Israël en 1955, d'une mère russe et d'un père tchécoslovaque, Nir Barzilai appartient à une famille comptant beaucoup d'infirmières — *« dont ma mère »* — et de médecins — *« dont mon père, que j'accompagnais dans ses tournées »*. Jeune recrue, il rejoint l'armée israélienne comme instructeur médical et participe, avec les forces spéciales, au fameux « raid sur Entebbe » (Ouganda) en 1976 qui permit la libération d'une centaine d'otages d'un avion d'Air France détourné. De ces années d'action, Nir Barzilai retient *« la capacité à faire ce que l'on souhaite, sans peur »*.

Après son diplôme de médecine interne, une bourse lui permet d'intégrer l'université Yale (États-Unis) où il rencontre sa future femme, avocate, et trouve sa voie. *« J'ai détesté la manière dont la médecine était pratiquée aux États-Unis où aucun praticien n'ose prescrire de l'aspirine de peur d'être poursuivi en justice. Cela m'a décidé à faire de la recherche. »* Il étudie alors le méca-


DANNY GHITIS POUR SCIENCES ET AVENIR

Directeur de l'Institute for Aging Research, de l'Albert Einstein College of Medicine de New York (États-Unis), Nir Barzilai espère mettre au point un traitement unique qui préviendrait les maladies liées à l'âge.

nisme de plusieurs médicaments qui font baisser la glycémie chez les diabétiques… dont la metformine. Lorsqu'il décroche, à 38 ans, un poste au prestigieux Albert Einstein College of Medicine, il repère dans le quartier du Bronx une cohorte de plus de 600 juifs ashkénazes d'une longévité exceptionnelle, âgés de 95 à 112 ans. Le médecin passe alors ces centenaires et leurs familles au crible et identifie deux particularités génétiques *« associées à une protection cardio-vasculaire »*, preuve qu'il existerait bien des facteurs protecteurs des maladies liées à l'âge ! Mais le « moment Eurêka » surviendra plus tard, en Espagne, lors d'une conférence internationale sur la biologie du vieillissement, en 2014 : *« Une étude montrait que les personnes obèses et diabétiques sous traitement (de metformine) avaient une mortalité plus faible que les personnes en bonne santé sans diabète ! »* Nir Barzilai et une dizaine de chercheurs dont James Kirkland, directeur du Center of Aging de la Mayo Clinic (Minnesota), commencent alors leur action de lobbying auprès de la FDA, contournant les obstacles. L'absence de biomarqueurs du vieillissement, quantifiables et mesurables lors d'essais cliniques, empêche la validation d'un médicament ? Qu'à cela ne tienne ! Les chercheurs adaptent leur vocabulaire, parlant de *« comorbidités »* (troubles associés à une maladie) plutôt que de *« vieillissement »*. Nir Barzilai assume le tour de passe-passe : *« Peu importe comment la FDA l'appelle, tant qu'on peut le retarder ! »* Et les premières réunions avec la FDA se révèlent, pour l'heure, plutôt positives. *« Nir est un joueur à avoir dans son équipe,* affirme James Kirkland. *Il travaille jour et nuit et en dix ans, jamais je ne l'ai vu de mauvaise humeur ! »*

La cause qu'il défend le pousse à se mettre en avant

Pour défendre sa cause, Nir Barzilai n'hésite plus à se mettre en avant en acceptant, par exemple, d'être le héros d'un documentaire du réalisateur Ron Howard (*Apollo 13, Da Vinci Code…*). *« Depuis, le téléphone ne cesse de sonner. Tant mieux ! Si quelqu'un veut mettre des millions de dollars sur la table pour TAME, je suis preneur. »* Seuls sa fille, en thèse d'informatique, et son fils, musicien, parviennent à lui changer les idées. *« Ils m'ont obligé à m'intéresser à d'autres domaines que la recherche ! »* Son rêve ? Que chacun puisse vivre en bonne santé, *« 85 ans environ »*, avant de mourir, rapidement. Sans fantasme de jeunesse éternelle. Si, si, il l'assure : *« Vieillir, c'est la vie… »* ■ **Elena Sender**

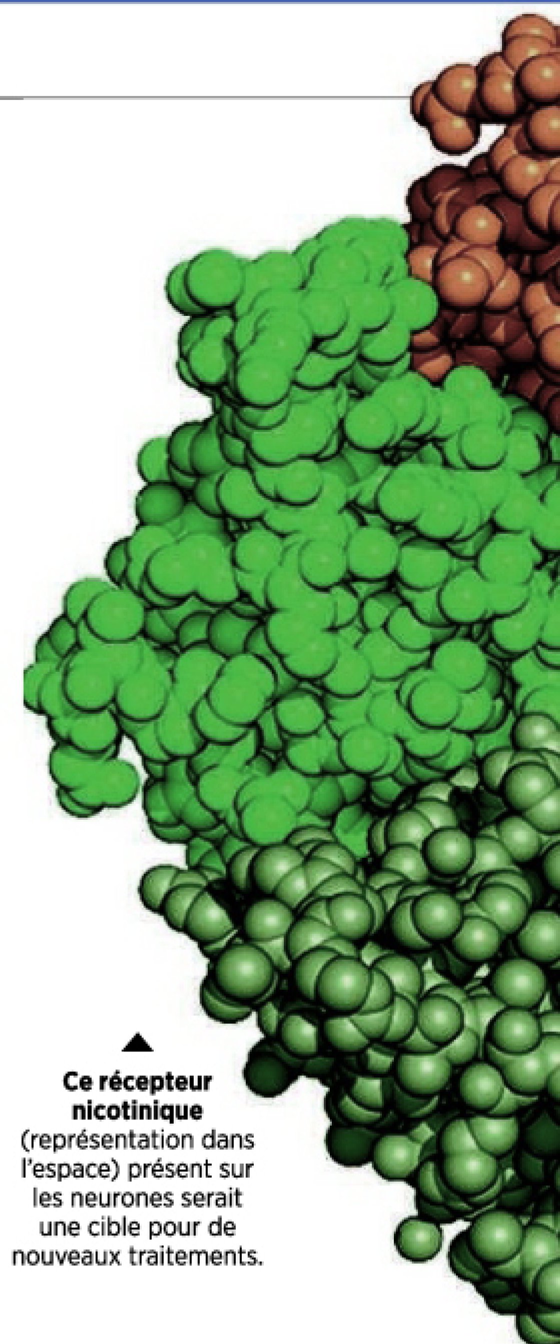
@ElenaSender

« Nir est un joueur à avoir dans son équipe. Il travaille jour et nuit et je ne l'ai jamais vu de mauvaise humeur »

James Kirkland, directeur du Center of Aging de la Mayo Clinic, à Rochester (États-Unis)

Imiter la nicotine pour empêcher la maladie d'Alzheimer

En bloquant des récepteurs spécifiques dans le cerveau, la nicotine prévient les pertes de mémoire chez la souris malade. Explications.



Ce récepteur nicotinique (représentation dans l'espace) présent sur les neurones serait une cible pour de nouveaux traitements.

ET SI LA NICOTINE PROTÉGEAIT de la maladie d'Alzheimer? Voilà l'étonnante question sur laquelle travaille une équipe du département de neurosciences de l'Institut Pasteur (Paris). Pour comprendre, il faut rappeler que cette pathologie est notamment caractérisée par l'accumulation de peptides bêta-amyloïdes à l'extérieur des neurones. L'une des premières structures cérébrales touchées est cruciale dans la mémorisation : le gyrus denté, Or, les chercheurs ont remarqué depuis longtemps que les neurones de cette structure de l'hippocampe sont dotés de récepteurs à l'acétylcholine (un neuromédiateur important dans les processus cognitifs), ce qui leur confère une forte affinité pour la nicotine. Appelés pour cela « récepteurs nicotiniques à l'acétylcholine », ils entraînent le phénomène de dépendance au tabac *(lire ci-dessous)*... mais pas seulement.

900 000 personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer en France en 2015.

225 000 nouveaux cas recensés chaque année (source : Association pour la recherche sur Alzheimer).

« Il y a une quinzaine d'années, nous avions mis en évidence, in vitro, *une interaction directe de ces récepteurs avec le peptide bêta-amyloïde toxique impliqué dans la maladie d'Alzheimer »*, explique Uwe Maskos, neurobiologiste à l'Institut Pasteur et coauteur de l'étude. En résumé, plus il y a de récepteurs nicotiniques disponibles, plus le peptide bêta-amyloïde s'y accumule. Et sa production en est stimulée. Mais dans cette nouvelle étude conduite par l'Institut Pasteur, les chercheurs ont cette fois montré le phénomène in vivo chez des souris Alzheimer dont les récepteurs nicotiniques étaient désactivés. Surprise ! *« Elles n'ont pas présenté de perte de mémoire à la différence des autres souris malades »*, raconte Uwe Maskos. Preuve que la liaison entre ce récepteur nicotinique et le peptide bêta-amyloïde pourrait bien être une cible intéressante pour traiter la maladie. Et c'est avec de la nicotine que les chercheurs pourraient être tentés d'agir car en se fixant sur ces récepteurs, elle les rend indisponibles au peptide bêta-amyloïde. Un apport régulier de nicotine reviendrait ainsi à empêcher l'accumulation de la protéine délétère et à prévenir les pertes de mémoire.

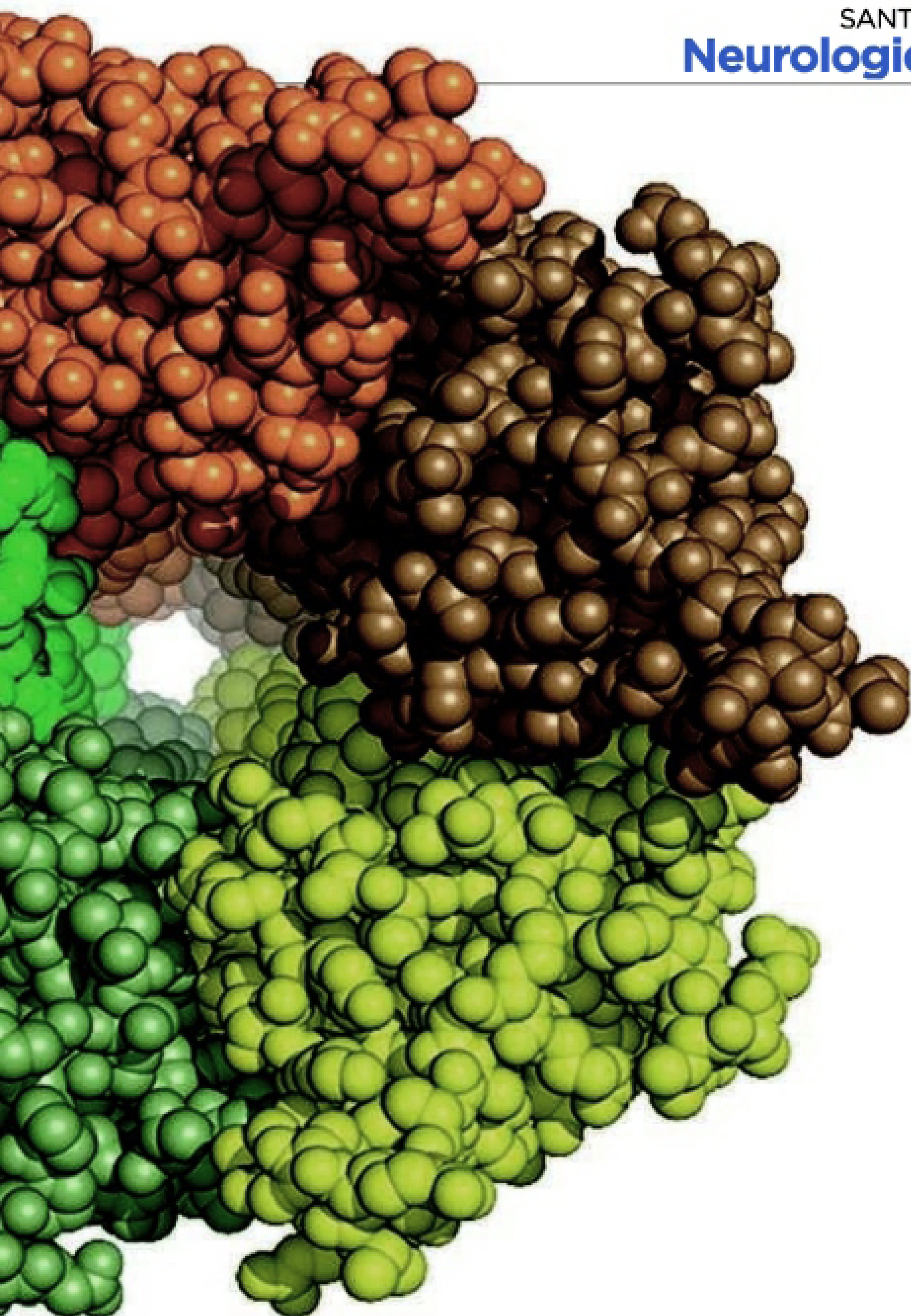
Fumer reste un facteur de risque pour la maladie

D'où la question sensible : les fumeurs seraient-ils protégés de la maladie d'Alzheimer ? *« Des publications l'ont tout d'abord plus ou moins laissé penser*, commente Uwe Maskos. *Mais elles avaient un biais. »* Et quel biais ! En 2010, une analyse des différentes études sur le sujet menée par l'équipe de Janine Cataldo, de l'université de Californie à San Francisco (États-Unis), a démontré ceci : sur 43 études traitant du lien Alzheimer-ciga-

RÉCEPTEUR NICOTINIQUE

Pourquoi on devient dépendant

Lorsqu'on fume une cigarette, la nicotine traverse la barrière hémato-encéphalique du cerveau et se fixe sur les récepteurs nicotiniques à l'acétylcholine des neurones. Le récepteur nicotinique occupé devient alors transitoirement insensible à tout autre neurotransmetteur. Le fumeur chronique maintient ainsi une concentration de nicotine suffisante pour désactiver les récepteurs, entraînant une réduction du plaisir ressenti (dépendance). Après une période d'abstinence (une nuit de sommeil par exemple), la concentration de nicotine diminue et les récepteurs retrouvent leur sensibilité à l'acétylcholine, occasionnant agitation et manque.



INSTITUT PASTEUR

rette, un quart (11) avait des auteurs affiliés à l'industrie du tabac. Et ce conflit d'intérêt se retrouve dans les résultats, puisque systématiquement les études indépendantes ne trouvent pas de corrélation entre fumer et une protection contre Alzheimer, contrairement à celles affiliées aux industriels du tabac. *Idem* pour les études de suivi de population indépendantes qui ont toutes montré un risque accru d'Alzheimer pour les fumeurs, quand celles liées aux cigarettiers n'en montrent pas… « *Au final, on peut dire que les données disponibles indiquent que fumer est un facteur de risque significatif pour Alzheimer* », conclut Janine Cataldo. Mais que se passerait-il si l'on administrait la nicotine seule, sans les 5000 autres composants des cigarettes, sous forme de patch par exemple ? « *La nicotine a elle-même de nombreux effets délétères,* alerte Uwe Maskos. *Hypertension, artérosclérose, affaiblissement du système immunitaire, dépendance. Il faut faire la balance bénéfices/risques.* » Quant à l'e-cigarette : « *on ne connaît pas encore ses effets sur les poumons, la rate, le foie…* »

L'équipe de l'Institut Pasteur cherche donc des financements pour acquérir une machine à faire… vapoter les souris ! Mais le mieux serait de disposer d'un médicament, qui agirait à la manière de la nicotine, sans effets secondaires. « *On aura un premier candidat médicament dans un an,* assure Uwe Maskos. *Et un essai clinique dans trois ans.* » ■

Elena Sender
@ElenaSender



Laissez-vous tenter par les tentacules !

Riches en protéines, vitamines et oméga 3, poulpes, calmars et seiches ont toute leur place dans nos assiettes. À condition de bien les cuisiner…

Avec leurs nombreux tentacules et leurs petites ventouses, les céphalopodes ne sont pas les animaux marins les plus appétissants ! Pourtant, calmars, seiches et poulpes sont appréciés depuis l'Antiquité, comme le prouvent les recettes du Romain Apicius compilées au IVe siècle. Mais malgré la baisse du prix des céphalopodes frais en 2014, leur consommation stagne en France — contrairement à l'Espagne, à l'Italie, au Portugal et au Japon —, largement devancée par celle des crevettes et des coquilles Saint-Jacques. Ils entrent ainsi pour une faible part dans la consommation en France de coquillages, crustacés et céphalopodes qui était de 9,9 kg par personne en 2014, soit un tiers de l'ensemble des produits aquatiques. En outre, d'après le rapport 2015 de FranceAgriMer (1), *« ils ne représentent que 2 % des volumes et des montants totaux de produits aquatiques achetés par la restauration… pour 68 % sous forme surgelée »*. S'ils sont parfois source de dégoût, leurs qualités sont plébiscitées par les nutritionnistes. Las ! les pratiques culinaires ne sont pas toujours adaptées. Exemple avec les calmars frits… Ajouter du gras à cet aliment déjà riche en cholestérol n'est pas une bonne idée. Pourtant, bien cuisinés, les céphalopodes peuvent contribuer au rééquilibrage partiel de nos assiettes.

Ils sont aussi riches en protéines que les viandes

Avec 30 % de protéines, le poulpe surclasse la viande de bœuf (25 %) contre 18 % pour le calmar. Et ce sont d'excellentes protéines puisqu'elles sont constituées, comme celles des poissons, de l'ensemble des acides aminés. Les céphalopodes rivalisent aussi avec les viandes grâce à leurs qualités organoleptiques. La teneur en collagène est jusqu'à 10 fois plus faible que dans la viande de bœuf, avec moins d'hydroxyproline, un acide aminé qui joue un rôle central dans la résistance des tissus. Cette composition rend les céphalopodes plus digestibles (2).

4 %

C'est la part des céphalopodes dans le commerce mondial de poissons, mollusques et crustacés. Sur les 18,4 kg de produits de la mer consommés par personne et par an, 0,5 kg sont des céphalopodes. Le calmar arrive en tête, suivi du poulpe et de la seiche.

Ils apportent une grande quantité d'oméga 3

Leur teneur en lipides est faible (entre 1 et 2 % selon les espèces) et calmar et poulpe sont riches en acides gras oméga 3. *« Une portion de 75 g apporte le tiers*

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

MÉTHYLMERCURE Forme physico-chimique la plus toxique du mercure. Il est absorbé à 95 % par le système gastro-intestinal. Il s'accumule dans le cerveau et peut avoir des effets neurotoxiques.

AEP ET ADH Acides gras de la famille des oméga 3 à chaîne longue, donc insaturés. L'organisme synthétise mal l'AEP. Il est nécessaire de consommer des aliments qui en contiennent beaucoup.

VITAMINE B Groupe de 8 vitamines solubles dans l'eau et que notre organisme ne stocke pas. Une carence en vitamine B peut provoquer une fatigue chronique, voire une dépression.

des besoins en acide eicosapentaénoïque (AEP) et en acide docosahexaénoïque (ADH) », souligne le Dr Bernard Schmitt, médecin nutritionniste membre du groupe de travail de l'Anses sur les risques et bénéfices de la consommation de poissons, mollusques et crustacés. Les céphalopodes peuvent donc contribuer à rééquilibrer notre alimentation car il faudrait consommer 4 fois plus d'oméga 6 que d'oméga 3, le facteur actuel étant de 18 (3).

Ils protègent notre système cardio-vasculaire

Les acides gras AEP et ADH qu'ils contiennent ont des propriétés anti-inflammatoires et améliorent le fonctionnement des systèmes immunitaire et circulatoire. Résultat : les céphalopodes contribuent à faire baisser la tension artérielle, le taux de triglycérides dans le sang, et diminuent le risque de formation de plaques d'athérome. Différentes études suggèrent que l'AEP et l'ADH diminuent aussi les complications fatales des infarctus du myocarde (4). Les femmes enceintes doivent y penser : manger du poisson — mais aussi des céphalopodes ! — contribue au bon développement du cerveau de l'enfant. En revanche, le rôle protecteur des oméga 3 dans les maladies neurodégénératives reste controversé (5).

Un concentré de vitamines, de fer et d'oligoéléments

Le calmar et surtout le poulpe regorgent de fer. « *Pour des personnes souffrant d'anémie, manger des céphalopodes est intéressant,* précise Florence Foucaut, nutritionniste à Paris. *D'autant que le fer d'origine animale est mieux absorbé que celui d'origine végétale.* » Les mollusques sont également riches en cuivre et sélénium. Ce dernier, connu pour ses effets antioxydants, renforce les défenses immunitaires et améliore le fonctionnement de la thyroïde. Les céphalopodes offrent aussi un cocktail intéressant de vitamines B, C et E. La vitamine B12, de concert avec la vitamine B9, synthétise les globules rouges. Une portion de 75 g de poulpe fournit ainsi six fois la quantité journalière recommandée. « *Les vitamines B sont essentielles à notre métabolisme et au bon fonctionnement de nos cellules nerveuses et osseuses* », insiste Florence Foucaut.

Une contamination de métaux lourds sans danger

Comme les poissons, les mollusques absorbent des contaminants de l'environnement, surtout le méthylmercure et les dioxines. Le poulpe est l'espèce la plus sensible au mercure. D'après le rapport de l'Anses sur « *la consommation de poissons, mollusques et crustacés* » (6), le taux de contamination de la pieuvre, l'autre nom du poulpe, est de 0,21 microgramme par gramme, soit bien en dessous du seuil maximum toléré. L'Anses en conclut que « *la contamination par le mercure des produits de la mer ne pose pas de problème de santé publique* ». À condition de ne pas manger plus de 2 produits de la mer gras par semaine. La restriction est valable uniquement pour les calmars, les seuls céphalopodes gras. Quant à la contamination par les dioxines, elle est aussi bien moins importante chez les céphalopodes que chez certains poissons tels que la sardine ou le saumon. Il ne reste plus qu'à vérifier que leur chair est bien luisante chez le poissonnier, et à les consommer très frais. Mais, comme ils contiennent peu de corps gras, ils s'oxydent peu. Encore une qualité à mettre à leur crédit ! ■

Cécile Coumau
@cecilecoumau

DR BERNARD SCHMITT directeur de recherche du Centre d'enseignement et de recherches en nutrition (Cern) et expert auprès de l'Anses

« Un taux de cholestérol élevé mais sans danger »

« Le calmar est un mollusque qui contient une grande quantité de cholestérol, de l'ordre de 175 mg pour une portion de 75 g, soit une quantité comparable à celle d'un œuf. Pourtant, il n'est pas nécessaire de l'interdire aux personnes qui souffrent d'hypercholestérolémie. Tout d'abord, parce que nous n'en mangeons pas souvent, sachant qu'il est recommandé de ne pas consommer plus de 300 mg de cholestérol par jour. En revanche, il convient de ne pas cumuler calmar et autres aliments riches en cholestérol. Enfin, les oméga 3, très présents dans les céphalopodes, ont un effet régulateur sur le métabolisme du cholestérol. »

(1) Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture, FranceAgriMer, 2014.
(2) Indispensable amino acid requirements of fish: Correspondence between quantitative data and amino acid profiles of tissue proteins, Mambrini M. et Kaushik S. J., *J. Appl. Ichthyol.*, décembre 1995, vol. 11, 240-247.
(3) Le rapport oméga 6/oméga 3 dans l'équilibre alimentaire : biochimie, métabolisme et conséquences physiopathologiques, Schmitt B. et Weill P., *Nutritions et Endocrinologie*, septembre-octobre 2010, vol. 8, n° 47.
(4) Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits, Mozaffarian D., Rimm E. B., *Jama*, 18 octobre 2006, vol. 296, n° 15, 1885-1899.
(5) Effect of Omega-3 Fatty Acids, Lutein/Zeaxanthin, or Other Nutrient Supplementation on Cognitive Function, Emily Y. Chew & al. Jama, 2015.
(6) Consommation des poissons, mollusques et crustacés : aspects nutritionnels et sanitaires pour l'homme, Anses, décembre 2010.

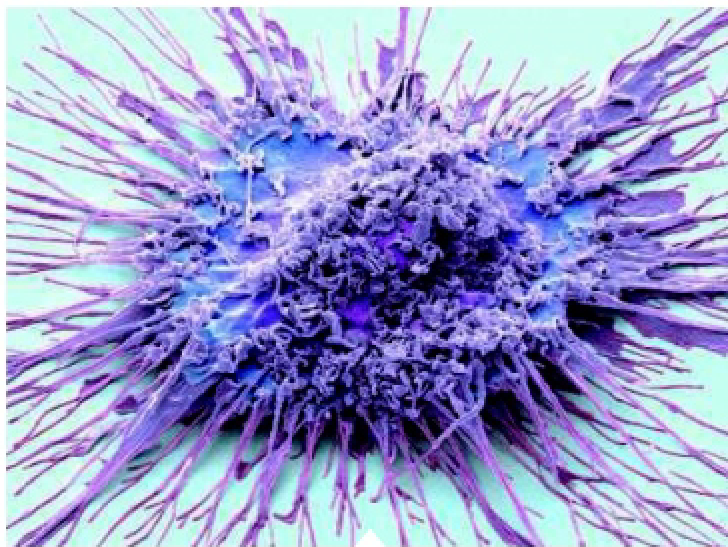
VACCIN THÉRAPEUTIQUE (OU CURATIF) Contrairement à un vaccin préventif classique, il vise à stimuler le système immunitaire du patient pour l'aider à combattre une maladie déjà déclarée, en l'occurrence un cancer.

ANTIGÈNE TUMORAL Protéine présente à la surface des cellules cancéreuses. Cible potentielle d'un vaccin thérapeutique.

CELLULES DENDRITIQUES Elles sont spécialisées dans la présentation des antigènes étrangers ou anormaux aux lymphocytes T afin que ces derniers les reconnaissent et déclenchent une réponse immunitaire.

L'espoir d'un vaccin universel contre le cancer renaît

Une équipe de chercheurs allemands annonce avoir mis au point un traitement vaccinal permettant d'éliminer n'importe quel type de tumeur cancéreuse en dopant le système immunitaire du patient.


S. GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS

Clé de voûte du système immunitaire, les cellules dendritiques (ici l'une d'elles vue au microscope électronique) produisent les antigènes tumoraux.

ILS SONT TROIS PATIENTS ATTEINTS DE MÉLANOME à un stade avancé. Une équipe de chercheurs de l'université Johannes-Gutenberg et de la société de biotechnologie BioNTech, à Mayence (Allemagne) décide de leur administrer un tout nouveau traitement. D'abord l'injection d'une dose très faible de nanoparticules, suivie de quatre injections hebdomadaires à dose plus élevée. Résultat : la tumeur a fondu chez le premier patient, comme l'attestent les images scanner. Le deuxième, qui avait subi une ablation chirurgicale de plusieurs masses tumorales avant l'administration du vaccin, n'a pas rechuté après sept mois. Chez le troisième, qui était atteint de huit tumeurs ayant essaimé aux poumons, aucune progression tumorale n'a été observée. Ces résultats impressionnants, publiés en juin dans la revue *Nature**, relancent l'espoir d'un « vaccin anticancer ». Un traitement innovant qui parviendrait, grâce à une stimulation très efficace du système immunitaire, à... éradiquer les tumeurs ! Le processus est complexe à obtenir, il requiert une cascade d'effets dans le corps du malade mais les chercheurs, justement, espèrent le maîtriser. Leur idée force : créer pour le système immunitaire une alerte spécifique afin qu'il parvienne à rejeter la tumeur.

Les chercheurs ont développé une stratégie reposant sur des nanoparticules lipidiques renfermant du matériel génétique de cellules cancéreuses

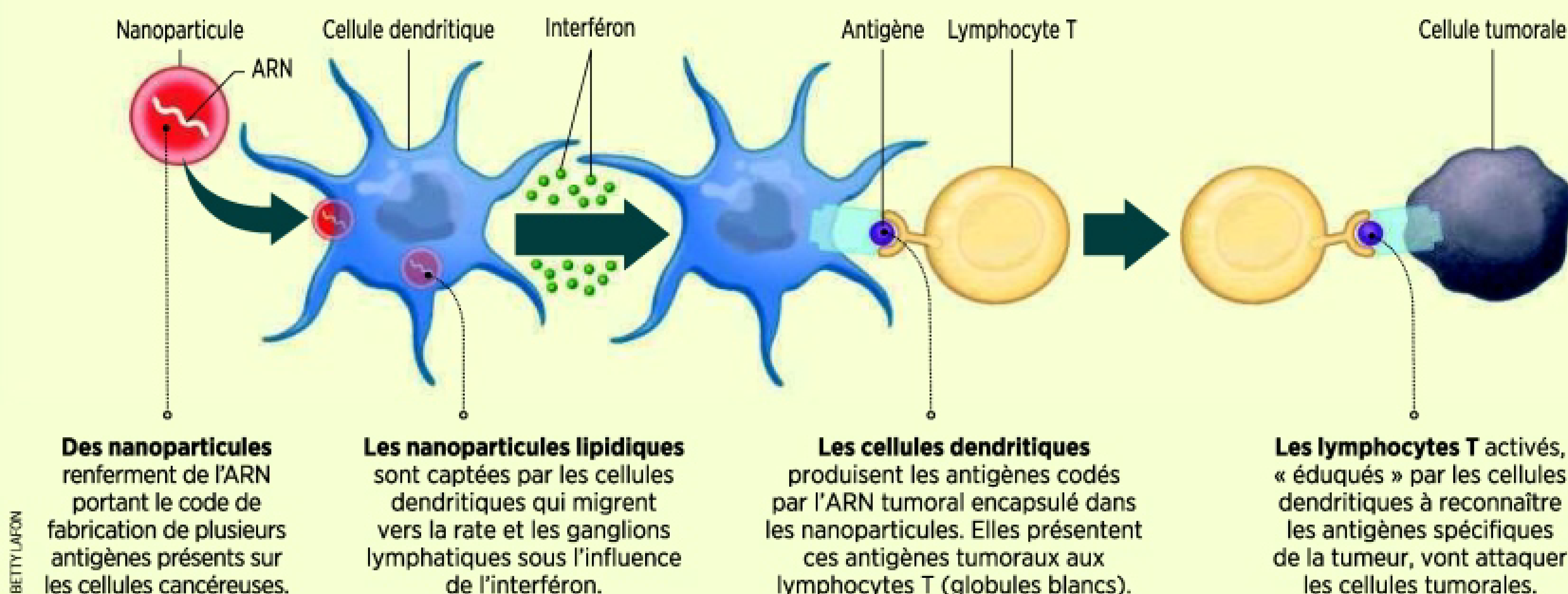
Une attaque massive et spécifique

Avant cette tentative audacieuse, tout a commencé, bien sûr, par des expériences sur des souris. On a désormais compris que les cellules malignes se différencient des cellules normales en présentant des protéines (codées par les gènes) que les cellules exhibent à leur surface : les « antigènes tumoraux ». Les chercheurs ont donc décidé d'exploiter ces particularités avec un objectif majeur : s'assurer que les globules blancs (lymphocytes T) de la souris (ou de l'homme) malade mènent contre les cellules cancéreuses une attaque massive et ciblée. Il a

THÉRAPEUTIQUE

Un leurre qui entraîne une réaction antitumorale

L'ingénieux procédé mis au point par les chercheurs a consisté à injecter des nanoparticules lipidiques pour simuler une attaque par un agent infectieux et induire de la part du système immunitaire une réaction antitumorale, comparable à celle provoquée par un virus.
Les chercheurs ont en effet observé la production d'interféron alpha, protéine normalement fabriquée par les cellules immunitaires en réponse à une infection virale.
À noter que l'interféron favorise la migration des cellules dendritiques vers la rate et les ganglions lymphatiques et donc leur rencontre avec les lymphocytes T, qui vont ensuite combattre la tumeur *(voir l'infographie)*. Ces travaux montrent donc qu'un vaccin thérapeutique anticancer, à base de nanoparticules composées d'ARN tumoral et de lipides, peut induire une réponse immunitaire efficace, curieusement semblable à celle normalement déclenchée par une infection virale, et s'appuyant pour ce faire sur les cellules dendritiques, véritables chefs d'orchestre du système immunitaire.



ainsi fallu trouver le moyen de les renseigner sur l'ennemi, en l'occurrence les antigènes tumoraux. C'est ce qui a été habilement réalisé par les biologistes.
Dans des nanoparticules lipidiques, ils ont inséré du matériel génétique de cellules cancéreuses, de l'ARN tumoral portant le code de fabrication de plusieurs antigènes présents à la surface des cellules cancéreuses. Ces nanoparticules ont été ensuite administrées aux souris. Leur système immunitaire a alors réagi comme s'il avait affaire à une attaque virale, confondant des particules extrêmement petites avec des virus. En d'autres termes, les chefs d'orchestre que sont les cellules dendritiques, que l'on trouve dans la rate et les ganglions lymphatiques, sont entrées en action *(lire l'encadré ci-dessus)*.

Une « éducation » du système immunitaire

Les nanoparticules ont en effet été captées par les cellules dendritiques puis se sont mises à produire les antigènes codés par l'ARN tumoral. Information majeure qu'elles sont ensuite allées livrer aux vrais défenseurs de l'organisme que sont les globules blancs, ainsi bien préparés à un assaut spécifique contre des cellules tumorales clairement identifiées. Avec cette approche, c'est véritablement à une « éducation » du système immunitaire que les chercheurs ont voulu procéder. D'abord, en lui signalant précisément quels sont les antigènes de surface spécifiques des cellules dangereuses — ces dernières partagent en effet avec les cellules saines nombre d'autres antigènes de surface, ce qui complique habituellement la tâche de reconnaissance (entre sain et pathologique).
Le système immunitaire doit également être fortement stimulé car la tumeur renferme, en plus des cellules cancéreuses, des cellules inflammatoires. Celles-ci constituent un « microenvironnement tumo- ▶


D. GOUPY/SIGNATURES

INTERVIEW

LAURENCE ZITVOGEL

DIRECTRICE DE RECHERCHE À L'INSTITUT GUSTAVE-ROUSSY (VILLEJUIF).

Une nouvelle approche efficace

Selon vous, l'équipe allemande a-t-elle fait une avancée majeure ?
Oui, car elle a réussi, par un procédé de biotechnologie, à développer pour la première fois une formulation efficace pour délivrer aux cellules dendritiques *(voir l'infographie p. 75)* n'importe quel ARN codant pour des antigènes tumoraux. C'est en ce sens que l'on peut parler de vaccin universel contre le cancer. Ces chercheurs sont en effet parvenus, en utilisant des nanoparticules de la bonne taille et dotées de la bonne charge électrique, à faire en sorte que de l'ARN injecté par voie intraveineuse échappe à une dégradation enzymatique et parvienne dans l'organisme aux endroits voulus. C'est-à-dire là où se trouvent les bonnes cellules, les cellules dendritiques capables de stimuler le système immunitaire pour que des lymphocytes T CD8+ s'attaquent ensuite efficacement à la tumeur.

Pourquoi cette approche originale n'avait-elle pas été développée auparavant ?
Jusqu'à présent, les travaux de recherche vaccinale contre le cancer, pour ceux qui reposaient sur l'emploi de cellules dendritiques, ont consisté à utiliser les propres cellules dendritiques de malades pour doper leur système immunitaire contre certains antigènes tumoraux. Mais cette approche particulièrement complexe est coûteuse dans la mesure où elle nécessite au préalable de conditionner *in vitro* les cellules dendritiques avant leur injection au patient. À noter qu'elle s'est révélée modérément efficace.
Par ailleurs, les efforts pour encapsuler de l'ARN tumoral dans des particules se heurtaient jusqu'à maintenant au fait qu'il n'était pas possible de fabriquer des particules capables de délivrer chez l'homme des doses équivalentes à celles efficaces chez la souris. Or, les chercheurs allemands ont réussi à montrer que lorsque l'on combinait dans un bon rapport des lipides avec de l'ARN, on obtenait des particules capables, après injection intraveineuse, d'être efficacement captées par les cellules dendritiques de la rate, de la moelle osseuse et des ganglions lymphatiques.

« Ces chercheurs sont parvenus à faire en sorte que de l'ARN injecté par voie intraveineuse parvienne dans l'organisme aux endroits voulus »

Propos recueillis par M. G.

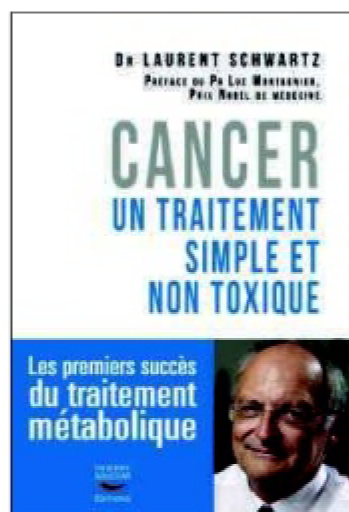
ral » délétère, en sécrétant des molécules qui viennent freiner l'action des cellules immunitaires, ce qui permet à la tumeur de continuer à proliférer.
Sur les souris, les résultats de cette approche avaient été jugés plus que positifs, puisque les tumeurs avaient été éradiquées en vingt jours, alors qu'elles continuaient à se développer chez les souris « non vaccinées ». D'où les essais ultérieurs sur l'homme.

Une production facile et peu coûteuse

Il reste à mener des essais cliniques randomisés (patients traités *versus* non traités) sur de plus grands effectifs, afin de vérifier la sécurité d'emploi et l'efficacité à long terme de cette stratégie innovante. Il faudra aussi élaborer des nanoparticules chargées d'ARN codant pour des antigènes différents selon le type de cancer. Cette production serait néanmoins « facile et peu coûteuse » selon les chercheurs de Mayence, qui soulignent que *« virtuellement, n'importe quel antigène tumoral peut être codé par un ARN »*.
Serait-il alors possible de développer un vaccin dit universel pour combattre tout type de cancer ? En théorie, oui. Il faudrait cependant, pour cela, avoir identifié pour chaque tumeur la combinaison optimale d'antigènes tumoraux. C'est-à-dire être capable de déterminer ceux capables de provoquer de la part du système immunitaire une forte réponse antitumorale.
Nul doute que ces travaux novateurs et très encourageants devraient donner une forte impulsion à la recherche vaccinale contre le cancer. Les résultats des futurs essais cliniques sont attendus avec un vif intérêt. ■

Marc Gozlan
@MarcGozlan

* Kranz L. M. et al., Systemic RNA delivery to dendritic cells exploits antiviral defence for cancer immunotherapy, *Nature*, 1er juin 2016.



Laurent Schwartz, Thierry Souccar Éditions, 128 p., 10 €

Cancer, un traitement simple et non toxique

Par ce titre, le cancérologue Laurent Schwartz affirme, une fois encore, sa conviction: il est temps d'explorer une nouvelle piste pour lutter contre le cancer. Car les voies majeures de traitement (chimiothérapie, immunothérapie, génétique) focalisent les recherches, à coups de milliards dépensés, sans venir à bout d'un fléau qui tue chaque année 8 millions de personnes dans le monde. Pis: la mortalité n'a pas diminué autant qu'on l'espérait. Pour ce médecin formé à Harvard (États-Unis) qui s'inspire des travaux du prix Nobel Otto Warburg, la cause initiale du cancer serait métabolique, liée à la fermentation du glucose dans la cellule. Avec une équipe pluridisciplinaire (physiciens, biologistes...) qu'il a réunie autour de lui à l'École polytechnique, il a testé des molécules connues depuis longtemps et peu coûteuses dont il explique l'intérêt. Laurent Schwartz en est persuadé: la toxicité des traitements actuels et leur prix exorbitant imposent un changement de paradigme. Et si la solution était plus simple qu'il n'y paraît? Préfacé par le prix Nobel Luc Montagnier, cet ouvrage, très pédagogique, s'adresse aux malades par qui les évolutions peuvent survenir. ■ **Carole Chatelain**

LE FIL DE LA VIE

Jean-Louis Dessalles, Cédric Gaucherel, Pierre-Henri Gouyon,
Odile Jacob, 240 p., 24,90 €.



Né de la rencontre de trois chercheurs, ce livre passionnant interroge: *« Si les êtres vivants meurent, qu'est-ce qui perdure? »* Et la réponse pourrait bien ne pas être de nature matérielle: l'information constituerait en effet la logique du vivant. Une vision décalée qui nous invite à déceler dans la nature, au-delà de la matérialité de l'ADN et des objets, une forme de langage. ■ **M. G.**

GÉRONTOLOGIE PRÉVENTIVE

Sous la direction de Christophe Trivalle,
Elsevier Masson, 720 p., 39 €



Cet ouvrage aborde toutes les questions que se posent les professionnels de santé prenant en charge des personnes âgées, ainsi que les proches de ces derniers. Parmi les thèmes évoqués: la prévention des chutes, le dépistage de la fragilité et des troubles de la déglutition, l'alimentation, l'activité physique... Revue et enrichie, cette 3e édition est à saluer pour sa grande qualité pédagogique. ■ **M. G.**

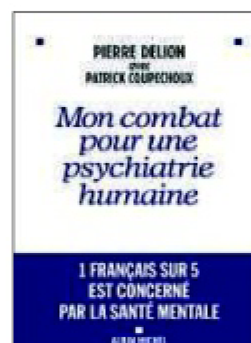
NOTRE MÉDECIN INTÉRIEUR

Dr Gaétan Brouillard,
Les Arènes, 288 p., 22,90 €



Le corps, le cœur et l'esprit. Telle est la triade au centre de cet ouvrage qui propose des pistes pour réduire notre consommation de médicaments, changer nos comportements alimentaires, repenser notre mode de vie. L'auteur québécois, adepte de la médecine corps-esprit et de la médecine dite holistique, valorise ici les mécanismes d'autoréparation et de guérison. En bonus, un CD audio avec des exercices de relaxation. ■ **S. R.-M.**

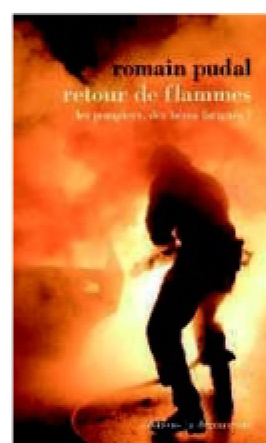
Mon Combat pour une psychiatrie humaine



Pierre Delion avec Patrick Coupechoux,
Albin Michel, 288 p., 19,50 €

Quand la psychiatrie se fait humaniste. Voilà un ouvrage qui nous plonge dans le parcours professionnel exemplaire du psychiatre et psychanalyste Pierre Delion. Retour sur les 40 années de pratique de ce militant de la nouvelle psychiatrie, qualifiée de « désaliéniste ». Ce livre, écrit avec le journaliste Patrick Coupechoux, nous plonge au cœur de ce qui a toujours animé ce médecin: la création de liens autour des patients. Exemple on ne peut plus parlant avec le « packing », pratique qui consiste à envelopper des autistes dans des draps mouillés, qu'il a initiée et défendue, et qui est toujours au cœur d'une violente polémique. Ce pédopsychiatre retrace ici son parcours, depuis sa première découverte horrifiée de l'asile. Au fil des pages, il y expose ce qu'il a toujours voulu mettre en œuvre: que les patients se sentent tenus par une relation mais justement pas par des contentions. Un témoignage exemplaire, empreint d'authenticité et de vérité. Une lecture nécessaire à l'heure où la psychiatrie traverse une grave crise de moyens. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

Retour de flammes



Romain Pudal, La Découverte, 280 p., 16,50 €

Un homme vient de perdre connaissance. Le réflexe: appeler les pompiers... Cet essai, écrit par un sociologue également pompier volontaire, donne à voir cet engagement de l'intérieur, de la formation basée sur la réussite de tous à l'exercice d'un service en première ligne face à la montée des inégalités. Un engagement qui, comme beaucoup d'autres, doit faire face à des tentatives de privatisation visant à transformer l'usager en client, le volontaire en vacataire mal rémunéré, et dont on n'exige non plus l'altruisme, mais le sacrifice. La description de la transformation de l'institution s'accompagne d'une enquête de terrain qui donne à entendre la voix des pompiers. La plupart (encore essentiellement des hommes) sont issus des classes populaires, même si les jeunes issus de l'immigration en sont absents. Ces témoignages individuels, à travers des anecdotes et récits d'intervention, rendent aisée la lecture de ce bel objet de réflexion. ■ **Isabelle do O'Gomes**

La voiture à hydrogène trace sa route

Elle pourrait bien être la vedette du Mondial de l'automobile à Paris (du 1er au 16 octobre). Car la voiture électrique alimentée à l'hydrogène cumule les avantages : grande autonomie, recharge rapide, absence de rejets polluants…

Par Olivier Hertel

SURTOUT, NE PAS L'AFFOLER. Le dépasser en douceur en appuyant légèrement sur la pédale d'accélérateur tout en s'écartant suffisamment pour le cas où, sous l'effet de la surprise, il donnerait le coup de guidon fatal. Doubler un vélo sur ces routes étroites et sinueuses de la haute vallée de Chevreuse, près de Paris, au volant d'une Mirai, la nouvelle voiture à pile à combustible de Toyota, reste une manœuvre délicate. Car l'engin, indétectable aux oreilles des cyclistes, avale ces petites départementales vallonnées dans un silence absolu. Normal : la Mirai est avant tout une voiture électrique. Mais à la différence d'une Renault Zoé par exemple, son énergie ne provient pas d'une batterie mais d'une pile à combustible alimentée à l'hydrogène *(voir ci-contre)*. Elle n'émet donc aucun gaz à effet de serre, pas la moindre particule et rejette juste… de l'eau. Mais ses véritables atouts sont ailleurs : une autonomie d'environ 400 km — contre 150 km pour la Zoé — pour un plein d'hydrogène effectué en 3 à 5 minutes contre plusieurs heures pour recharger les batteries de la Renault. De quoi remporter la mise et renvoyer les moteurs thermiques au garage, qu'ils carburent au super ou au gazole.



OLIVIER HERTEL POUR SCIENCES ET AVENIR

Essai de la Toyota Mirai par notre journaliste sur les routes de la vallée de Chevreuse. La Mirai n'est pas encore commercialisée en France.

Las ! les voitures à hydrogène sont encore rarissimes : seuls 1800 véhicules circulent dans le monde, dont moins d'une dizaine en France ! Mais la donne est en train de changer selon Pierre-Étienne Franc*, directeur marchés et technologies avancés du français Air Liquide, l'un des plus gros producteurs d'hydrogène au monde : *« Il n'y en avait que 200 il y a deux ans. Et cela a doublé ces six derniers mois. »* Côté constructeurs, l'offre est en pleine extension également, coréens et japonais ouvrant le bal. Hyundai a ainsi été le premier en 2013 à lancer un véhicule de série nommé ix35 *« fuel cell »* (pile à combustible en anglais) ; Toyota lui a emboîté le pas fin 2014 avec la Mirai ; chez Honda, la Clarity Fuel Cell, vendue au Japon depuis mars, devrait bientôt arriver en Europe avec une autonomie annoncée de 700 km ! Mais les allemands ne sont pas en reste : Mercedes et BMW prévoient leurs premiers véhicules de série pour 2017 ou 2018. Et le *fuel cell* sera au centre des discussions du Mondial de l'automobile qui ouvre ses portes le 1er octobre à Paris, d'autant que Toyota a mis gracieusement à disposition depuis janvier 2015 près de 6000 brevets liés à la pile à combustible.

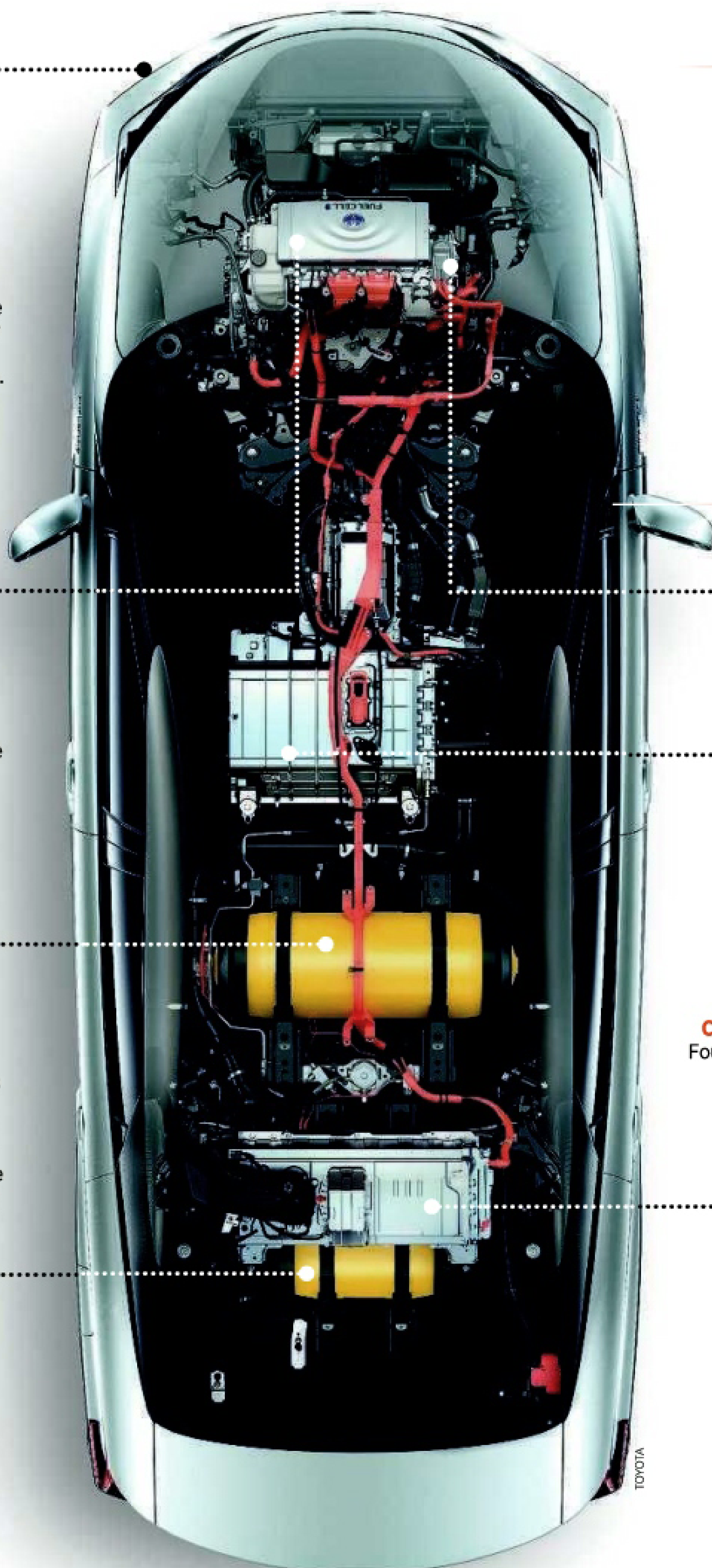
Les constructeurs français risquent de louper le coche

N'importe quelle entreprise peut ainsi bénéficier gratuitement des années de recherches et développements du constructeur nippon. L'objectif de Toyota est simple : *« préparer l'avènement de la voiture à hydrogène »*. Tout le monde devrait en profiter donc… sauf, peut-être, les marques françaises ! PSA n'affiche pas, en effet, un grand intérêt pour la pile à combustible et indique simplement rester en veille. Quant à Carlos Ghosn, patron du groupe Renault, il devrait faire lors du Mondial une annonce importante sur… l'électrique.

MOTORISATION

Un véhicule qui ne rejette que de l'eau

Dans la pile à combustible, l'oxygène de l'air et l'hydrogène provenant des réservoirs réagissent pour produire de l'électricité qui alimente le moteur et de l'eau rejetée dans l'environnement. La voiture à hydrogène (ici la Mirai) n'émet donc aucun polluant ou gaz à effet de serre.



ENTRÉE D'AIR
Les larges grilles d'aération sur la face avant laissent entrer l'air qui alimente la pile à combustible.

ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE
Gère la puissance de la pile en fonction des conditions de conduite.

RÉSERVOIRS D'HYDROGÈNE
Les deux réservoirs (en jaune) en fibres de carbone stockent 122 litres d'hydrogène à haute pression (700 bars)

MOTEUR ÉLECTRIQUE
La voiture à hydrogène est une voiture électrique. Mais son énergie provient essentiellement de la pile à combustible.

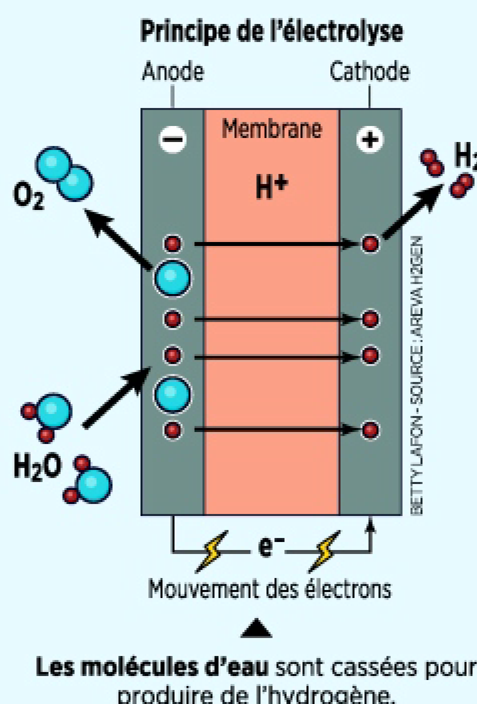
PILE À COMBUSTIBLE
Fournit l'électricité au moteur.

BATTERIE
La batterie nickel-hydrure apporte un complément d'énergie à la pile à combustible lors des accélérations.

ÉLECTROLYSEUR PEM

Comment produire proprement de l'hydrogène

Si la voiture à pile à combustible est propre, on ne peut pas en dire autant de l'hydrogène. Celui-ci est aujourd'hui produit quasi exclusivement à partir d'hydrocarbures fossiles selon un procédé, le vaporeformage, qui relargue dans l'atmosphère des gaz à effet de serre. Mais il est aussi possible de le fabriquer à partir d'eau, grâce à un électrolyseur. La société Areva H2gen a inauguré en juin, aux Ulis (Essonne), la première usine d'électrolyseurs en France. La technologie repose sur les électrolyseurs dits PEM (à membrane échangeuse de protons). *« La molécule d'eau (H_2O) est "cassée" grâce au courant électrique (électrons) circulant le long de l'anode.*



Les molécules d'eau sont cassées pour produire de l'hydrogène.

La membrane PEM laisse passer l'hydrogène alors sous forme de protons (H+), mais pas l'oxygène (O_2) qui est rejeté. Arrivés à la cathode, les protons se recombinent avec les électrons pour former des molécules d'hydrogène (H_2) » explique Cyril Dufau-Sansot, président d'Areva H2Gen. L'électrolyseur doit être connecté à un réseau électrique. Et pour que sa production soit parfaitement « propre », il faut que l'électricité provienne de sources renouvelables (solaire, éolienne...). Il peut donc être connecté à une centrale solaire ou éolienne ou encore à un réseau intégrant déjà une part d'énergies renouvelables, pour alimenter une station-service à hydrogène.

▶ Les constructeurs français vont-ils « louper le coche »? Possible, car ailleurs, le « déclic hydrogène » a bien eu lieu. À l'origine, la multiplication de signaux venant du secteur de l'énergie et du gaz, les industriels souhaitant leur part du gâteau. Illustration, en France, avec la compagnie de taxis STEP dont le service Hype, lancé il y a près d'un an, utilise six Hyundai à hydrogène. Elles font le plein dans une station spécialement construite en plein cœur de Paris par Air Liquide, partenaire de la start-up. Ainsi soutenue, STEP souhaite porter sa flotte à 200 voitures à hydrogène d'ici à la fin 2017. *« Ce déploiement se fera en fonction de l'ouverture de trois stations supplémentaires à proximité des aéroports d'Orly et de Roissy et à l'ouest de Paris »*, explique Mathieu Gardies, président de la start-up. Plus étonnant encore, l'entrée en piste du français Engie. Ce géant de l'énergie, surtout connu pour ses productions de gaz naturel et d'électricité, a annoncé en septembre aux côtés de Michelin un investissement « important » — dont le montant n'est pas précisé — dans Symbio FCell. Cette société basée à Paris est l'un des principaux acteurs du développement de la voiture à hydrogène en France grâce à sa technologie d'hybridation batterie-pile à combustible inédite. *« Nous avons développé un système de pile à combustible compact qui peut s'installer directement sur une voiture électrique pour*

5 MODÈLES SUR LA GRILLE DE DÉPART

Honda Clarity
JAPON
Type 100 % hydrogène
Prix 66 000 €
Autonomie environ 700 km



Hyundai ix35
CORÉE DU SUD
Type 100 % hydrogène
Prix 66 000 €
Autonomie environ 500 km



Mercedes GLC
ALLEMAGNE



prolonger son autonomie. Nous avons ainsi équipé quelque 150 Renault Kangoo ZE qui peuvent désormais parcourir 300 km contre 130 km avec les seules batteries. Nous travaillons sur des systèmes plus puissants permettant d'atteindre les 400 km d'ici à la fin 2017 », explique son responsable, Fabio Ferrari.

La mobilité au service du réseau électrique

Pour Engie, la mobilité n'est cependant qu'un petit pan d'une vision beaucoup plus vaste que détaille Thierry Lepercq, directeur général adjoint, en charge de la recherche et technologie et de l'innovation : « *L'hydrogène est le chaînon manquant des réseaux électriques dans lesquels la part des énergies renouvelables est de plus en plus importante.* » Or la production des centrales solaires et des éoliennes, dépendante de la météo, n'est pas toujours en phase avec la consommation. Il faut donc stocker cette production excédentaire pour l'utiliser plus tard, quand le réseau en a besoin. « *L'hydrogène permet justement ce stockage. Dès lors, il peut aussi servir à alimenter des voitures à pile à combustible. Dans ce système, la mobilité rend service au réseau* », ajoute Thierry Lepercq. En d'autres termes, la voiture à pile à combustible devrait largement profiter du développement des énergies renouvelables. D'autant que la production d'hydrogène peut se faire à petite échelle, à partir d'électrolyseurs installés sur tout le territoire *(lire l'encadré p. 80)*. Les villes et les régions pourraient donc bénéficier de cette manne énergétique sur le réseau électrique local pour créer de nouvelles stations hydrogène associées à de nouveaux services de mobilité propres : bus, taxis, autopartage, etc.

Le modèle dit à prolongateur d'autonomie développé par Symbio Fcell est un bon moyen de laisser le temps au réseau de stations de se développer. Il tend naturellement vers le « *Mid-Power* », un type d'hybride rechargeable poussé notamment par Mercedes et BMW. Ce concept embarque une pile à combustible et une petite batterie rechargeable. La nuit, la batterie est chargée sur le secteur pour assurer les petits trajets du lendemain, jusqu'à 50 km. Mais quand il s'agit de faire de la route, la voiture peut compter sur ses réservoirs à hydrogène et sa pile pour parcourir environ 400 km. Et en cas de besoin, elle pourra refaire le plein dans une station hydrogène. Mais une autre voie est possible, celle de la voiture 100 % hydrogène, ou « *Full Power* », choisie par Toyota et Hyundai. S'il y a bien une batterie à bord, elle n'apporte qu'un complément de puissance lors des accélérations. Attention cependant à ne pas enterrer trop vite la concurrence. Avec un prix du pétrole au plus bas, le moteur thermique pourrait faire de la résistance. Quant à la voiture électrique, elle profite d'une nouvelle génération de batteries qui promet de doubler la distance parcourue. C'est d'ailleurs probablement à leur sujet que Carlos Ghosn s'apprête à faire des annonces au Mondial de l'automobile. Déjà, Tesla commercialise son dernier Model S P100D avec une « super-batterie » qui affiche une autonomie d'environ 600 km. Impressionnant. Mais il faut toujours plusieurs heures pour la charger quand 5 minutes suffisent à faire le plein d'hydrogène d'une Honda Clarity qui revendique 700 km d'autonomie. Et surtout, à plus de 160 000 €, la S 100D ne sera pas la voiture de monsieur Tout-le-monde. ■

@OlivierHertel

MATIÈRE PREMIÈRE

Très cher et indispensable platine

Métal plus précieux que l'or, le platine est aussi un catalyseur indispensable à la fabrication des piles à combustible. *« Mais il ne devrait pas constituer un frein au développement de la voiture à hydrogène car les besoins vont diminuer. Déjà entre 2000 et 2010 ils ont été divisés par dix dans les piles. À terme, il ne devrait pas y en avoir plus que dans les pots d'échappement catalytiques actuels »*, explique Florent Petit, directeur de FCellSys à l'université de technologie Belfort-Montbéliard (Franche-Comté).

* Pierre-Étienne Franc et Pascal Mateo, *Hydrogène : la transition énergétique en marche*, Gallimard, 2015.

Type Hybride rechargeable
Prix commercialisation 2017
Autonomie environ 500 km



Symbio FCell
FRANCE

Type Prolongateur d'autonomie
Prix 36 000 €
Autonomie environ 300 km



Toyota Mirai
JAPON

Type 100 % hydrogène
Prix 66 000 €
Autonomie environ 500 km




X. DELAPORTE / ALPHA / ANDIA

ÉRIC SCHERER
DIRECTEUR DE LA PROSPECTIVE ET DU MÉDIALAB À FRANCE TÉLÉVISIONS

« Demain, on interagira avec le monde numérique par le regard »

Les réalités virtuelle et augmentée progressent à pas de géant. Déjà Facebook prédit des immersions saisissantes dans des univers parallèles décrypte ce spécialiste.

FACEBOOK

Le réel est désormais concurrencé par les réalités virtuelle et augmentée. Qu'ont-elles en commun ?

Réalité virtuelle et augmentée sont toutes deux des visions altérées et artificielles de la réalité, créées par les technologies. Mais elles sont différentes. La réalité virtuelle (RV) vous coupe du monde. L'utilisateur porte un casque intégral qui trompe son cerveau pour le transporter dans un autre lieu, voire une autre époque. Avec la réalité augmentée, le dispositif n'est plus un masque immersif mais semi-transparent, ou des lunettes comme des Google Glass améliorées. L'utilisateur voit le monde réel autour de lui, auquel viennent s'ajouter des informations numériques : des pages, mais aussi des objets virtuels qui apparaissent ainsi dans le monde physique. Celui-ci est donc « augmenté » de ces informations. En résumé, la réalité virtuelle est immersive, elle vous fait entrer dans une histoire ; la réalité augmentée est ambiante et fait venir les objets à vous.

Sont-elles technologiquement au même point ?

Non. La réalité virtuelle est en avance sur la réalité augmentée. C'est néanmoins cette dernière qui paraît la plus prometteuse. De nombreuses entreprises de la Silicon Valley y consacrent toute leur énergie comme la start-up américaine Magic Leap, l'une des plus secrètes du moment, dans laquelle Google — mais aussi la Chine — ont investi. Citons aussi Meta qui a demandé à tous ses employés d'abandonner les ordinateurs pour des casques ; les écrans sont des pages virtuelles qui apparaissent devant leurs yeux.

L'ère du « smartphone d'abord », selon votre expression, touche-t-elle à sa fin ?

Oui, et la réalité augmentée en est la cause. La porte d'entrée dans le monde numérique n'est plus le smartphone mais les pages qui apparaissent dans le champ de vision de l'usager. On accède à cet univers par la voix, comme avec l'assistant d'Apple (Siri) pour iPhone, ou par le geste avec le casque de réalité augmentée de Microsoft (Hololens) que j'ai essayé : il pèse 600 à 700 grammes et constitue un vrai ordinateur que l'on porte sur la tête. Avec ce dispositif, les informations numériques « augmentées » peuvent être manipulées du bout des doigts ! De quoi être pris pour un fou par ceux qui vous observent : vous êtes en train d'agir sur quelque chose de virtuel mais que vous voyez réellement... Demain, on pourra aussi agir grâce à une interface visuelle : c'est par le regard que les interactions se feront.

BIO EXPRESS

- **1989-2010** AFP (Agence France Presse), multiples fonctions dont correspondant à Tokyo, directeur des informations d'Amérique du Nord, directeur de la stratégie et des relations extérieures.
- **2001-2005** Président d'AFX news Ltd, filiale de l'AFP.
- **2003-2004** Président du World Business News Alliance (WBN).
- **Depuis 2010** Directeur de la prospective et de la stratégie numérique de France Télévisions. Blog meta-media.fr
- **Juin 2011** Publie *A-t-on encore besoin des journalistes ?* Manifeste pour un journalisme augmenté, éd. PUF
- **2014-2016** Codirige avec Pr Gemma Serrano le séminaire « Journalisme et bien commun à l'heure des algorithmes », Collège des Bernardins, Paris.

Pourquoi la réalité virtuelle intéresse-t-elle particulièrement les réseaux sociaux ?

Facebook possède son propre casque de réalité virtuelle (Oculus Rift) et son patron, Mark Zuckerberg, rêve que nous ayons tous des avatars dans des mondes virtuels. Nous ne nous connecterons plus sur Facebook mais dans Facebook. L'internaute, le casque sur la tête, sera ainsi au bord d'un terrain de foot avec ses amis, ou sur la plage avec eux en vacances par l'intermédiaire de son représentant dans un univers parallèle. On appelle cela la *« réalité virtuelle sociale à plusieurs »*. Un livre de science-fiction décrit parfaitement ces univers parallèles, appelés aussi « métavers » : *Player One*, d'Ernest Cline *[lire* S. et A. *n° 834, août 2016]*. Tous les employés d'Oculus doivent d'ailleurs le lire avant d'intégrer la société ! J'ai eu l'occasion de tester quelques ébauches de ces métavers. Dassault Systèmes propose une application de réalité virtuelle avec laquelle,

Mark Zuckerberg, le patron de Facebook, a lancé son propre casque de réalité virtuelle. À terme, on ne se connectera plus sur mais dans le réseau social, où chaque participant aura son avatar (ici au Mobile World Congrès de Barcelone, en février).

même à l'intérieur du casque (ici un HTC Vive), l'utilisateur peut voir, de façon très pixélisée pour l'instant, la personne qui se tient à côté d'elle dans le monde réel. Il est même possible de lui serrer la main !

Mais les médias traditionnels peuvent aussi tirer parti de la réalité virtuelle : chez France Télévisions, nous l'utilisons dans un projet de journalisme très avancé nommé The Enemy qui recrée des avatars de combattants rencontrés par des reporters de guerre. Tous se retrouvent virtuellement face à face dans une même pièce et le spectateur, qui évolue au milieu d'eux, peut leur parler. Nous travaillons actuellement à ce que plusieurs personnes puissent regarder simultanément The Enemy. C'est complexe, mais nous ne sommes qu'au début du visionnage à plusieurs en réalité virtuelle.

Les réseaux sociaux restent-ils des acteurs dominants de cette redéfinition numérique du monde ?

Plus de 30 millions de Français sont présents sur Facebook. Il faut désormais compter avec SnapChat, le réseau à la mode parmi les jeunes, qui permet de faire des vidéos d'une dizaine de secondes pour les envoyer à une liste d'amis avant qu'elles ne disparaissent. Mais Snapchat est aussi une plateforme de distribution d'information, à laquelle sont associés CNN ou Discovery Channel, et qui sera active en France très prochainement. Quels médias français s'en saisiront ? Nul ne le sait encore… D'autant que le choix revient à SnapChat ! Je suis persuadé qu'il n'est pas possible pour un média ou des journalistes de ne pas savoir s'en servir, au risque de perdre définitivement les jeunes usagers, comme c'est déjà le cas avec la télévision ou la presse papier.

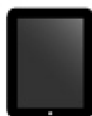
Le réseau Twitter, qui permet d'envoyer de brefs messages, est-il déjà dépassé ?

Twitter n'est pas facile à adopter pour le grand public. C'est comme une rivière qui coule en bas de chez vous : vous pouvez être abonné à des milliers de comptes sans les suivre un par un. Mais c'est un bel outil pour suivre l'actualité d'un secteur de spécialité. ■

Propos recueillis par Olivier Lascar et Dominique Leglu

COLLOQUE

▸ **De l'information de masse à l'information individualisée, que nous reste-t-il de commun ?**
22 novembre, de 20 h à 22 h. Collège des Bernardins, 20, rue de Poissy, 75005 Paris
Rens : 01.53.10.74.44.



LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'entretien avec Éric Scherer en vidéo sur **sciav.fr/836scherer**

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les bots, l'autre révolution numérique

Les bots sont des logiciels automatiques portés par les messageries instantanées, comme Messenger et WhatsApp de Facebook, WeChat en Chine ou Telegram en Russie. Leur essor est lié à celui de l'intelligence artificielle. L'idée est de discuter avec des robots conversationnels — les chatbots, d'où « bots » — qui jouent le rôle de valets virtuels. On leur demande de réserver une place de théâtre, une table au restaurant, un taxi… Ces bots viennent « au-dessus » des applications du smartphone : ils y cherchent, à la place de l'utilisateur et de façon transparente pour lui, la bonne information répondant. Ils passent ainsi d'une appli à l'autre, scrutent l'agenda, fouillent le carnet d'adresses ou l'historique des recherches, et leur réponse est la plus pertinente possible. En outre, ces bots apprennent en permanence, devenant de plus en plus « sages » avec le temps.

Le défi des premiers jeux bioniques

Exosquelettes, bras robotisés, prothèses du genou… Équipés de ces appareillages high-tech, 80 handicapés s'affronteront dans une série d'épreuves mimant la vie quotidienne. Rendez-vous au Cybathlon le 8 octobre près de Zurich.



« Trois… deux… un… Partez ! » Sur le terrain en salle de la Swiss Arena à Kloten (Suisse), les compétiteurs s'élancent et… vont s'asseoir sur un canapé. Puis se relèvent. S'assoient à nouveau. Le tout cinq fois de suite. Certains s'affrontent dans une épreuve de portage de plateaux chargés d'ustensiles de cuisine quand d'autres montent et descendent des escaliers, ouvrent des portes, portent des sacs. Farfelu ? Pas du tout. Il s'agit d'une compétition d'un nouveau genre dont la première édition, ouverte au public, doit se tenir le 8 octobre près de Zurich : le Cybathlon.

Les athlètes souffrent tous de handicaps affectant leurs facultés motrices (paraplégie, tétraplégie, amputation). À la différence des jeux paralympiques, les concurrents, appelés ici *« pilotes »*, n'accomplissent pas des performances physiques telles que le font les athlètes mais s'illustrent dans la réalisation de tâches quotidiennes, comme monter et descendre des volées de marches, passer une porte, étendre le linge, mettre la table. Pour y parvenir, ils utilisent des équipements bardés d'actionneurs, de capteurs et d'électroniques facilitant la précision et la variété des mouvements. Des dispositifs très éloignés des tibias en carbone en forme de lames du sprinter australien Oscar Pistorius, amputé des deux jambes. *« Les prothèses athlétiques sont passives et permettent uniquement de courir ou sauter, pas de s'asseoir à une table, de grimper des escaliers ou de conduire une voiture »*, explique Robert Riener, directeur d'une équipe de chercheurs en robotique à l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ) et créateur du Cybathlon.

C'est avec cette préoccupation en tête qu'il a ainsi défini six disciplines, correspondant chacune à un appareillage de pointe : prothèse robotisée de jambe et de bras, exosquelette, interface cerveau-machine (ICM), fauteuil roulant motorisé et stimulation électrique fonctionnelle (SEF). Cette dernière donne lieu à la seule véritable épreuve sportive, une course de tricycles pour des pilotes affectés d'un dysfonctionnement de la moelle épinière.

59
équipes
internationales participent à la compétition.

25
pays
représentés (athlètes, ingénieurs, chercheurs, techniciens).

6,46
millions d'euros
Le budget du Cybathlon.


ENS DE LYON

« En tant que handicapés, nous cherchons à concevoir des technologies dont nous pourrons nous servir ensuite »

Vance Bergeron, chercheur en physique à l'ENS Lyon, tétraplégique, participant au Cybathlon.

Une vaste vitrine pour des équipements innovants

L'idée de l'événement remonte à 2012, raconte Robert Riener : *« J'avais lu un article à propos d'un homme qui avait grimpé en courant les 103 étages de la Willis Tower de Chicago avec une prothèse motorisée d'articulation de genou. Un tel équipement n'était pas disponible dans le commerce, seulement dans les laboratoires de recherche. C'était spectaculaire ! J'ai alors imaginé une compétition qui multiplierait les épreuves de ce genre. »* Au final, 80 « pilotes », composant une

ETH ZURICH/ALESSANDRA DELLA BELLA

Les appareillages high-tech, tel ce bras robotisé, vont permettre aux athlètes de s'illustrer en réalisant des performances qui relèvent de tâches quotidiennes, comme étendre du linge.

soixantaine d'équipes, s'affronteront dans la Swiss Arena qui était à l'origine une patinoire de hockey. Certains concourront dans plusieurs disciplines. Avec l'aide d'étudiants de l'université de Delft (Pays-Bas) et de nombreux chercheurs venus d'institutions internationales comme l'ETHZ, l'École normale supérieure (ENS) de Lyon, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria), l'université de Hong Kong, l'Imperial College de Londres, etc. Ils vont côtoyer des techniciens et ingénieurs de sociétés commerciales, comme les Américains de Myolyn, les Islandais d'Össur, les Mexicains de Roki Robotics ou les Allemands de ReWalk. Tous étant au service des athlètes comme l'Australien Greg McClure ou l'Autrichien Patrick Mayrhofer. L'équipe de l'ENS Lyon, qui concourt en SEF et ICM, est un peu particulière : « *Alors que les équipes concurrentes sont constituées de scientifiques ou de fabricants, dont la vocation est de fournir des technologies aux handicapés, nous sommes nous-mêmes des handicapés* [quatre tétraplégiques]. *Nous cherchons à concevoir des technologies dont nous pourrions nous servir ensuite* », explique Vance Bergeron, le meneur de l'équipe et chercheur en physique. De fait, au-delà de la compétition, ces « jeux bioniques » sont surtout conçus pour être une ▶

DISCIPLINES

6 épreuves pour 6 systèmes de pointe


Interface cerveau-machine (ICM)
Les concurrents utilisent les ondes cérébrales pour animer un avatar sur un écran le long d'un parcours d'obstacle virtuel.


Course cycliste par stimulation électrique fonctionnelle (SEF)
Des athlètes paralysés des jambes effectuent 5 tours de piste (750 m au total) en huit minutes maximum. Il n'y a pas de limite au nombre de points de stimulation.


Course avec prothèse de bras robotisée
Quatre athlètes munis d'une prothèse de bras ou d'avant-bras reconstituent un puzzle, déposent des ustensiles de cuisine sur un plateau, le portent en passant une porte, étendent du linge sur un fil...


Course avec prothèse de jambe robotisée Quatre athlètes amputés d'une cuisse ou d'une jambe utilisent une prothèse pour s'asseoir sur un sofa et s'en relever, traverser un terrain accidenté, ouvrir une porte, monter des marches, porter une tasse et des fruits sur un plateau...


Course en exosquelette robotisée
Des pilotes paralysés des membres inférieurs réalisent le plus rapidement possible six tâches inspirées de la vie quotidienne (voir plus haut).


Course en fauteuil roulant motorisé
Quatre pilotes s'affrontent sur six parcours successifs (contourner des obstacles, monter un plan incliné, ouvrir une porte, rouler sur un sol accidenté, grimper des escaliers...).


COURTESY S. PERDIKIS

INTERVIEW

SERAFEIM PERDIKIS
CHERCHEUR À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, MEMBRE DE L'ÉQUIPE BRAIN TWEAKERS

« Repousser les limites des technologies que nous développons »

Pourquoi participez-vous au Cybathlon ?
Nous y voyons un moyen de faire connaître les travaux de notre laboratoire en interface cerveau-machine (ICM) et de repousser les limites des technologies que nous développons. Nous avons constitué une équipe de « post-doc » et de doctorants dès la fin de l'année 2014 et nous nous sommes appuyés sur des prototypes précédemment conçus pour commander des fauteuils roulants, des robots mobiles, des logiciels d'accessibilité. Nous les avons adaptés aux exigences de l'épreuve ICM du Cybathlon.

En quoi consiste cette épreuve ?
Chaque pilote contrôle un avatar qui court sur une piste virtuelle en ligne droite *[sur un écran d'ordinateur]*. La piste compte quatre segments sur lesquels le pilote doit faire accélérer son avatar par commande cérébrale, par la pensée en somme. Sur le premier segment, il commande une simple accélération ; sur le deuxième, il le fait sauter par-dessus des pointes ; sur le troisième, il lui fait franchir des obstacles ; sur le quatrième, il ne lui envoie aucune commande, ce qui a pour conséquence d'accélérer la vitesse : s'il se trompe, l'avatar ralentit ou trébuche.

Comment s'entraînent les pilotes ?
On sait aujourd'hui que la plasticité neuronale *[la capacité des neurones à faire et défaire des connexions synaptiques]* permet d'améliorer le contrôle d'un objet pendant et après une phase d'apprentissage ; le pilote apprend donc à moduler son activité cérébrale de manière à obtenir un schéma d'ondes bien précis au moment voulu. Celui-ci est alors décodé par le système ICM qui l'associe à une action de l'avatar. Pour résumer, remporter l'épreuve ICM nécessite un apprentissage intensif du pilote mais aussi les meilleurs algorithmes qui soient. ■

Propos recueillis par A. D.


AMÉLIE BENOIST

Ce dispositif permet à un tétraplégique d'actionner les pédales par électrostimulation (ici l'entraînement de Julien Jouffroy de l'équipe ENS Lyon).

vaste vitrine dévoilant au grand public le degré d'avancement des appareillages. Pour les universitaires sud-coréens qui ont conçu l'exosquelette de l'équipe SG Mechatronics, le Cybathlon sera même l'occasion du lancement officiel de leur société.
Les règles de la compétition imposent peu de contraintes technologiques, chaque équipe ayant la possibilité de présenter son projet, développé pour l'occasion ou non. Pour la course par SEF, les chercheurs de l'ENS Lyon se servent ainsi du TetraTrike, un tricycle monobloc en carbone de leur fabrication, associé à des techniques de stimulation musculaire mises au point dans le cadre de collaborations scientifiques. À l'inverse, l'Australien Greg McClure, assisté par un chercheur en biomédecine spécialiste de l'activité sportive à l'université de Sydney — et *a fortiori* l'équipe BerkelBike — vont utiliser un engin du commerce, le BerkelBike. Quant au Project March, il regroupe des étudiants néerlandais de l'université de technologie de Delft venus d'horizons divers (mécanique, interface homme-machine, électronique, systèmes de contrôle) : leur exosquelette filiforme, entièrement de leur création, est leur toute première machine de ce genre. Parmi ses concurrents figure le C-Brace, une prothèse de genou de la société Ottobock.
D'une certaine manière, le Cybathlon autorise à peu près tout ce qui relèverait de la triche aux jeux Paralympiques, hormis les moteurs à combustion (sur les fauteuils roulants, par exemple), les roulettes sur les exosquelettes ou l'assistance de tierces personnes au cours de l'épreuve. Ce que Robert Riener reconnaît volontiers : *« Mais pourquoi interdire de "tricher" si cela rend la vie plus facile ? »* ■

Arnaud Devillard

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Le 8 octobre,** suivez les épreuves sur notre site **www.sciencesetavenir.fr**
- Le site Web très complet du Cybathlon (en allemand et en anglais) : **sciav.fr/836cybathlon**
- Test de l'épreuve du sofa en exosquelette par l'équipe IHMC : **sciav.fr/836sofa**

L'impression 3D part à la conquête des airs

Boeing mise sur cette technologie à base de matériaux composites pour alléger les avions de ligne et réduire les délais de fabrication.

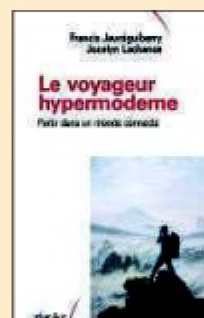
C'EST LA PLUS GRANDE PIÈCE jamais imprimée en 3D. L'objet de 5,33 m de long et de 1,68 m de large — dimensions qui lui valent une entrée dans le *Guinness Book des records* — est un élément d'aile du Boeing 777X. Il est l'œuvre des ingénieurs de l'Oak Ridge National Laboratory (Tennessee, États-Unis), qui ont déjà employé cette technique de fabrication dite additive pour réaliser une voiture et une maison. Il a fallu à peine trente heures pour sa fabrication, alors qu'avec un outillage classique cela aurait pris trois mois ! Constituée de fibres de carbone et de matériaux composites à base de thermoplastiques ABS, la pièce est beaucoup plus légère et économique que son équivalent en métal tout en présentant la même résistance.
En aéronautique, le gain de poids est synonyme d'économies en carburant et de diminution des émissions polluantes, c'est pourquoi les constructeurs considèrent l'impression 3D comme une solution d'avenir. Elle sera même incontournable pour honorer l'engagement de l'Association internationale du transport aérien (IATA) qui prévoit une stabilisation des émissions de CO_2 à partir de 2020, et une diminution d'ici à 2050. Aussi Boeing n'est-il pas le seul avionneur à miser sur l'impression 3D. Son rival européen Airbus a annoncé en juin un partenariat avec la plate-forme 3Dexpérience de Dassault Systèmes pour fabriquer outils, prototypes et pièces pour des essais en vol et pour la production d'avions commerciaux. De même, l'américain General Electric a lancé début septembre une offre d'achat sur deux spécialistes européens de l'impression 3D (SLM Solutions Group et Arcam AB) pour un montant total de 1,4 milliard de dollars. La firme utilise déjà la fabrication additive mais compte à terme y recourir pour produire des réacteurs d'avion. ■ **Florine Galéron**


ORNL

À peine trente heures suffisent à fabriquer en impression 3D cette pièce de voilure pour un Boeing 777X contre trois mois en construction traditionnelle.

Le Voyageur hypermoderne

Partir dans un monde connecté



Francis Jauréguiberry, Jocelyn Lachance, Éditions Érès, 152 p., 15 €

Dans notre monde hyperconnecté, qu'est devenu le voyage ? Ce besoin d'exploration, d'éloignement du quotidien, de rencontre des autres n'a-t-il pas été complètement chamboulé par le smartphone et les réseaux sociaux ? Est-il encore possible d'être ailleurs à des milliers de kilomètres des siens, quand dans la seconde ils reçoivent déjà nos messages et nos selfies ? Ce sont les questions que posent deux sociologues de l'université de Pau en s'appuyant sur le témoignage de ces voyageurs qui, de plus en plus, regardent le monde derrière l'écran de leur téléphone. ■ **Olivier Hertel**

DVD

Silent Running

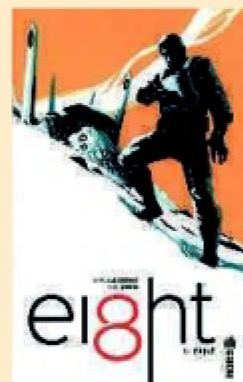


Douglas Trumbull, Wild Side Video, 89 min, 25 €

Les arbres et la flore ont disparu de la surface de la Terre, seuls des échantillons naviguent dans des vaisseaux spatiaux. Mais bientôt, on ordonne à leur gardien, Freeman Lowell, de les détruire... Dans des décors fascinants, ce film de science-fiction de 1972 est le premier doté d'une conscience écologiste appuyée. Marqué par une poésie pessimiste et un acteur habité, il a été magnifiquement restauré et agrémenté de bonus passionnants. ■ **Arnaud Devillard**

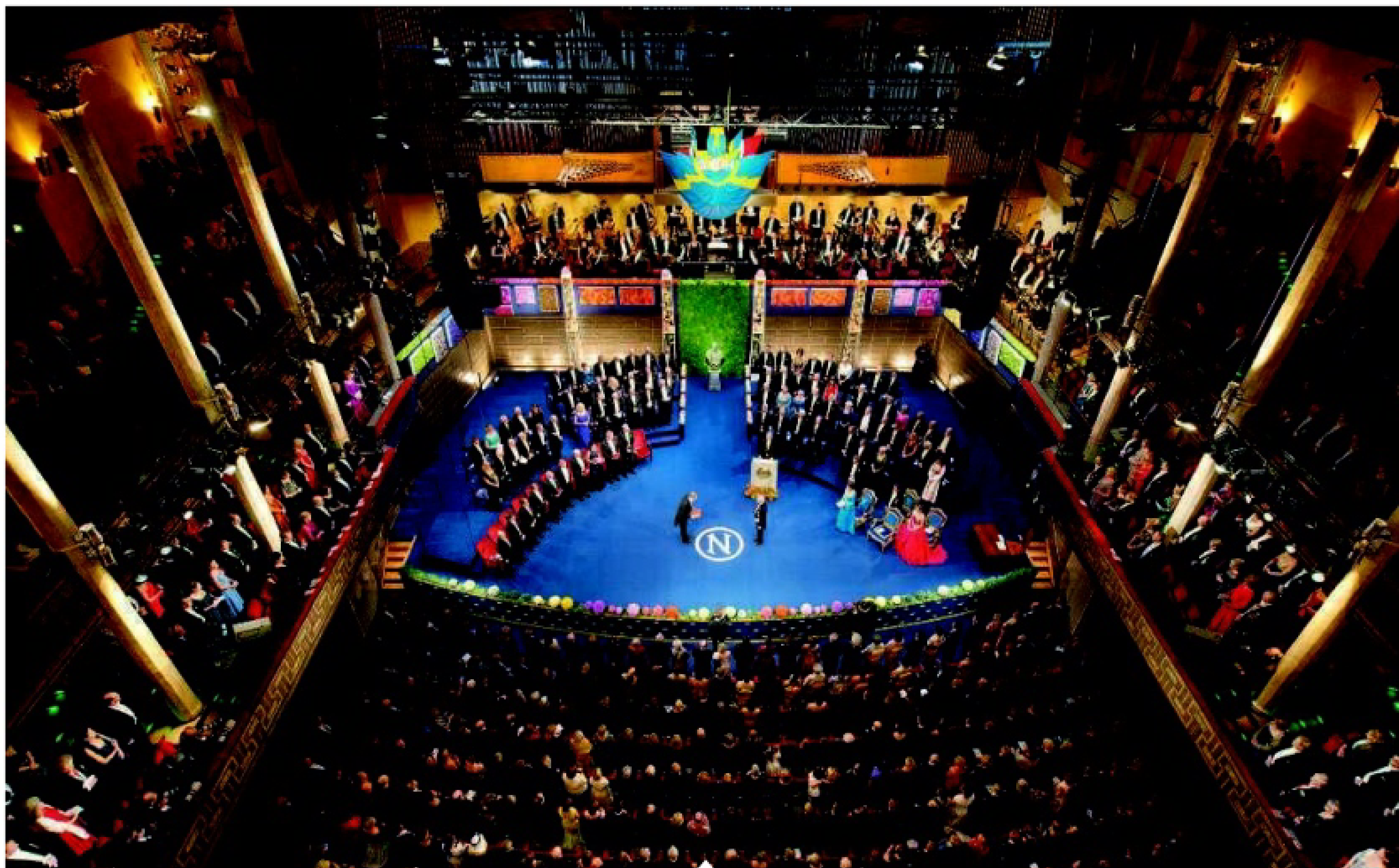
BD

Ei8ht. Exilé, tome 1



Mike Johnson et Rafael Albuquerque, Urban Comics, 128 p., 10 €

La mélasse est une dimension à l'écart du temps et de l'espace et dans laquelle Joshua s'est retrouvé prisonnier. Dans cette BD, le lecteur passe, au gré des chapitres, du passé, représenté en vert, au présent — violet —, et au futur — bleu —, tandis que la mélasse, elle, se distingue par sa couleur moutarde. Une très bonne idée qui évite au lecteur de se perdre entre les dimensions alors que, parallèlement, le héros est à la recherche de son amour perdu. ■ **Hervé Ratel**



A. MAHMOUD/NOBEL MEDIA AB

Le prix Nobel de physiologie ou médecine (ici, en 2014) est attribué par un jury de professeurs de l'institut Karolinska de Stockholm.

Pourquoi le Nobel de médecine aurait-il pu ne pas être décerné ?

CONTEXTE Une affaire de fraude scientifique éclabousse l'université suédoise qui désigne les lauréats du prix Nobel de médecine.

C'EST UNE HISTOIRE DIGNE D'UN THRILLER NORDIQUE qui éclabousse le jury du prix Nobel de médecine, issu du prestigieux institut Karolinska de Stockholm. Harriet Wallberg, ancienne doyenne de l'institut, et son successeur, Anders Hamsten, ont été priés le 5 septembre de quitter l'assemblée chargée de sélectionner les candidats. Ils sont impliqués dans une affaire dramatique de greffe de trachée qui a coûté la vie à deux personnes, orchestrée par un chirurgien italien du nom de Paolo Macchiarini aimant se comparer à Frankenstein... Au point que Bo Risberg, ancien président du comité d'éthique de l'institut Karolinska, a proposé que le Nobel de médecine ne soit pas décerné pendant deux ans et que le montant du prix soit alloué aux familles des patients décédés.

Tout commence en 2008 lorsque Paolo Macchiarini réalise une greffe de trachée issue d'une personne décédée selon une technique inédite : l'organe est « décellularisé » puis réensemencé par des cellules souches provenant du receveur. Une approche censée faciliter la cicatrisation et réduire les risques de rejet. Emballé, l'institut Karolinska lui offre un poste en 2010. À peine un an plus tard, le chirurgien réalise une autre première : la greffe d'une trachée en plastique colonisée elle aussi par des cellules souches du patient. En 2013, la presse suédoise révèle que deux des trois malades opérés selon cette technique par Paolo Macchiarini n'ont pas survécu, le troisième étant très affaibli. Un bilan que le chirurgien et l'institut auraient délibérément passé sous silence.

Jusqu'à ce qu'un documentaire révèle, en janvier dernier, que Paolo Macchiarini n'avait jamais testé ses prothèses sur des trachées animales... Le 23 mars, l'institut Karolinska le licencie pour

mensonges, négligences, falsifications de CV, violations de valeurs éthiques. Entretemps, plusieurs enquêtes ont confirmé le non-respect des règles médicales et éthiques fondamentales. Le médecin italien est désormais visé par une enquête de la police suédoise pour homicide involontaire et encourt jusqu'à six ans de prison.

Un rapport accusateur jeté aux oubliettes

Mais, dans cette affaire, il n'est pas le seul accusé. Sont également pointés du doigt les responsables de son recrutement. Harriet Wallberg et Anders Hamsten, en particulier, sont soupçonnés d'avoir voulu camoufler l'affaire. Selon la revue *Science*, ce dernier aurait fin 2014 jeté aux oubliettes un rapport commandé par l'institut suédois à Bengt Gerdin, professeur retraité de chirurgie à l'université d'Uppsala (Suède). Le rapport concluait que Paolo Macchiarini avait systématiquement déformé les résultats de ses interventions chirurgicales, au point de constituer une faute. Anders Hamsten aurait en outre prolongé le contrat du médecin italien. *« La crise de confiance est telle* [...] *que nous allons demander à Harriet Wallberg et à Anders Hamsten de quitter l'assemblée Nobel »*, avait expliqué le 6 septembre le secrétaire de l'assemblée, Thomas Perlmann, à l'agence de presse suédoise TT. Poussés vers la sortie mais pas renvoyés, cette dernière option n'étant pas prévue dans les statuts du comité Nobel. Thomas Perlmann précise que *« Harriet Wallberg et Anders Hamsten n'ont pas participé aux travaux pour désigner le prix Nobel de médecine 2016 »*. ■ **Lise Loumé**

@LysLoume

LE CHIFFRE DU MOIS

3,5 milliards d'euros

C'est le montant annuel perçu par les éleveurs et céréaliers anglais à travers la politique agricole commune. Dans la perspective du « Brexit », le chancelier de l'Échiquier (ministre des Finances) Phillip Hammond a indiqué que ces aides seraient maintenues au moins jusqu'en 2020. Mais après ? Les militants de la « campaign to protect rural England » (CPRE, campagne pour protéger l'Angleterre rurale) plaident pour une réforme en profondeur du système de subventions. Ils préconisent de cesser de subventionner les grosses exploitations pour réserver les aides aux petites fermes pratiquant l'agriculture biologique ou l'agroforesterie. Le CPRE a le soutien de la population anglaise. Et un sondage réalisé pour l'ONG Friends of the Earth (les Amis de la Terre) vient de révéler qu'une écrasante majorité de Britanniques — qu'ils aient voté ou non pour le Brexit — souhaitent que les règles environnementales européennes de protection de la nature continuent à s'appliquer. ■ L. C.

Que sont les « boues rouges » ?

CONTEXTE Dans un reportage diffusé début septembre sur France 3, la ministre de l'Écologie a suscité la polémique en s'opposant à l'autorisation donnée fin 2015 à l'entreprise Alteo de poursuivre ses activités à Gardanne.


B.HORVAT / AFP

Le site d'Alteo, à Gardanne (13) d'où proviennent les rejets.

C'est en Méditerranée, à 7 km au large du tout nouveau parc naturel régional des Calanques, qu'Alteo rejette en mer grâce à un tunnel de 50 km de long, des boues rouges, déchets issus du traitement de la bauxite, principal minerai d'aluminium, sur son site de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Le procédé Bayer, qui date de 1892, consiste à dissoudre l'alumine de la bauxite par de la soude. Il en résulte un résidu rouge brique à forte teneur en fer et en métaux lourds comme le plomb, le mercure et le chrome. La production d'une tonne d'alumine rejette 2 tonnes de boues rouges.
Au total, 20 millions de tonnes se sont entassées dans un canyon très fréquenté par les espèces marines. À la demande du ministère de l'Écologie, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'environnement, de l'alimentation et du travail) a recherché des résidus de toxiques chez quatre espèces de poissons (roussette, chinchard, sar, rouget) vivant dans ces fonds. 220 comparaisons ont été effectuées avec des poissons d'une zone proche non touchée. Ses conclusions, rendues le 21 décembre 2015, sont sans appel. Les poissons proches des rejets ont des teneurs en polluants plus élevées que ceux des zones éloignées. Pourtant, Alteo a arraché une autorisation de prolongation des rejets jusqu'en 2021 en mettant en avant une nouvelle technique : la société a investi 20 millions d'euros dans une presse permettant de séparer les résidus solides de l'eau. Le déchet solide est valorisé en partie comme remblai ou matériau de construction. Mais l'eau issue de ce traitement est toujours rejetée en mer. Avec quelle toxicité ? C'est la question que pose la ministre de l'Écologie Ségolène Royal qui a commandé fin août une expertise sur les teneurs en métaux lourds de cette eau dont les résultats ne sont pas encore connus.
Il existe pourtant d'autres solutions que le rejet en mer, assez peu pratiqué dans le monde. La plupart des industriels stockent les boues dans des bassins de rétention. Aujourd'hui, la société canadienne Orbite, liée au français Veolia, propose d'extraire totalement l'alumine du déchet et de fournir ainsi un matériau prêt à l'emploi. ■ **Loïc Chauveau**

LES TENSIOMÈTRES

Par Henri-Pierre Penel

La santé à bout de bras

Parmi l'offre pléthorique d'objets connectés pour surveiller sa santé, les tensiomètres se distinguent par leur rôle dans la prévention des maladies cardio-vasculaires. À condition de bien les utiliser.



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

L'HYPERTENSION ACCROÎT CONSIDÉRABLEMENT les risques d'apparition d'un AVC (accident vasculaire cérébral) ou d'un infarctus du myocarde. Dès une hypertension légère, de 14/9 à 15/9, le risque augmente déjà de 15 à 20 %. Pour les cas les plus sévères, supérieurs à 18/11, il grimpe au-delà de 30 %. Pratiquer des automesures de sa tension artérielle permet donc de mieux surveiller son évolution. Cependant, les mesures doivent impérativement être accompagnées d'un suivi médical et réalisées avec soin. En cas contraire, leurs résultats sont sans grande valeur, voire peuvent affoler inutilement.

Quel modèle choisir ?

Deux types de tensiomètres sont disponibles sur le marché. Les moins encombrants se fixent au niveau du poignet grâce à un large bracelet muni d'une bande auto-agrippante (Velcro) permettant de l'ajuster à la morphologie de chaque utilisateur. Les seconds sont équipés d'un brassard, également doté d'une bande auto-agrippante. Ils se positionneront donc au niveau du biceps. Ici encore, il faut prendre soin de bien ajuster le brassard au diamètre du bras. Dans les deux cas un mauvais placement, ou un défaut de fixation de la bande auto-agrippante provoque généralement le déclenchement d'une indication de défaut de fonctionnement et l'appareil n'affiche aucune valeur pour la tension.

Sont-ils fiables ?

Qu'ils soient à fixer au poignet ou au biceps, les deux types de tensiomètres exploitent un procédé de mesure identique. Leur fiabilité « technique » est donc comparable. Cependant, des erreurs d'utilisation peuvent rendre les systèmes de poignet moins précis. En effet, pour être exacte, la mesure de tension doit se faire à une hauteur identique à celle du cœur. Une prise de tension au niveau du biceps correspond donc à cette condition lorsque l'utilisateur est assis, entre autres. En revanche, si le tensiomètre est porté au niveau du poignet, ce n'est pas toujours le cas. Pour une bonne fiabilité des mesures, il est donc important de placer le poignet sur lequel s'effectue la mesure au niveau du cœur et, dans tous les cas, éviter de laisser le bras pendre.

Comment doit-on prendre sa tension ?

Les efforts, le stress ou même la position du corps influent considérablement sur la tension artérielle. La prise de tension doit se faire après une période d'inactivité physique d'au moins cinq minutes, si possible en position assise. De même il faut pratiquer une série de mesures le matin peu après le réveil et une le soir. Lors de chacune de ces scéances, il est vivement conseillé de pratiquer trois mesures espacées d'au moins une minute et de ne retenir que les valeurs les plus faibles. Cependant, tous les patients ne sont pas de bons candidats à l'automesure de la tension. En effet, certaines personnes anxieuses voient leur stress augmenter par peur du résultat, et les valeurs annoncées par l'appareil peuvent s'en trouver affectées. Enfin, il n'est pas nécessaire de surveiller sa tension chaque jour. Il est conseillé de pratiquer des séries de mesures sur cinq à sept jours, de soumettre les résultats à son médecin et, en cas de traitement, de pratiquer une nouvelle série de mesures dans un délai de un à six mois.

Comment fonctionnent-ils ?

Les appareils automatisés exploitent une procédure comparable à celle qu'utilise un médecin. Une petite pompe électrique gonfle le brassard, ou le bracelet, à une valeur très supérieure à celle d'une tension normale. Ce premier seuil atteint, la pompe s'arrête et le système se met en « écoute » : il guette l'arrivée du « battement » caractéristique que provoque le flux sanguin lors de chaque contraction cardiaque, quand sa pression est suffisante pour entrouvrir l'artère. Le système commence à réduire progressivement la pression et mémorise sa valeur lorsqu'un micro intégré dans l'appareil détecte l'apparition du bruit typique. La réduction de pression se poursuit jusqu'à la détection de la disparition totale du bruit et cette nouvelle valeur de pression est mémorisée. L'appareil en déduit les deux valeurs de tension : tension systolique et tension diastolique.

Doit-on opter pour un modèle connecté ?

Les modèles connectés peuvent apporter de nouveaux services. La connexion la plus simple est celle qui s'établit avec un smartphone. Un fonctionnement à rapprocher de celui des montres ou bracelets cardiofréquencemètres, coachs sportifs, etc., connectés. Une application associée peut mémoriser les résultats. Pour certains équipements, il peut aussi s'agir d'un véritable « télémonitoring ». Les valeurs de tension peuvent être transmises régulièrement à un centre de traitement cardiologique ; il peut même y avoir déclenchement d'alerte et mise en rapport rapide avec un médecin en cas de dépassement de seuils prédéterminés.

Quel est l'intérêt de les associer à une application?

Cela permet de réaliser un suivi très précis de l'évolution de la tension, de la relier à des actions ou même à des pratiques alimentaires. Les applications peuvent aider à trouver une certaine hygiène de vie pour combattre l'hypertension. De même, le médecin traitant sera intéressé par ce type de suivi à condition, bien entendu, que les mesures soient effectuées dans de bonnes conditions et que la personne soit compatible avec l'automesure. ■

TRAITEMENTS

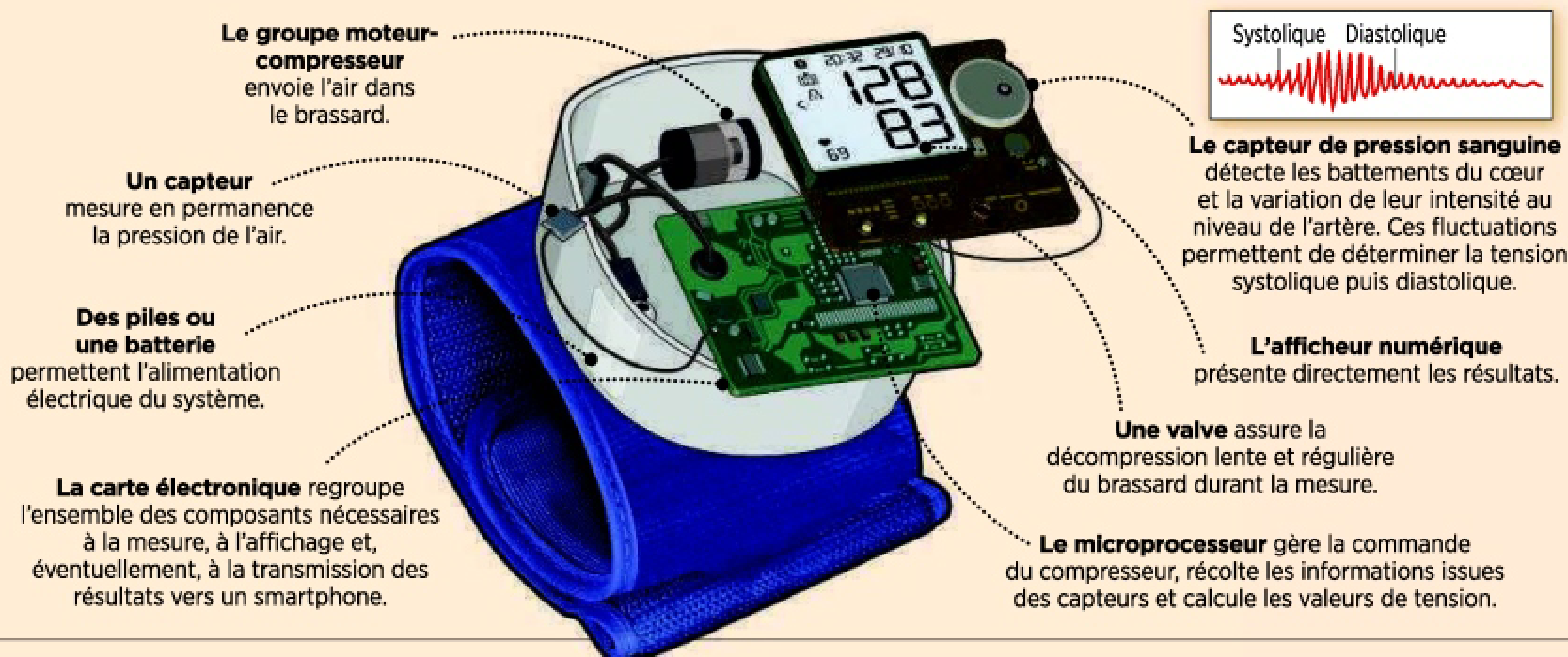
Les premiers pas de la télémédecine

Connecter un équipement médical ou paramédical permet de profiter de la richesse de traitement qu'offre l'informatique pour assister l'utilisateur, le conseiller, voire l'alerter. Les coachs sportifs sont un exemple de ce qu'il est possible de faire assez simplement en l'état de la technologie actuelle. Cependant, nous n'en sommes encore qu'aux balbutiements de la télémédecine. Si déjà certains tensiomètres sont reliés à des centres de télésurveillance et de télétraitement, les technologies de demain devraient permettre d'aller beaucoup plus loin en adaptant des traitements en temps réel à l'état du malade. Grâce notamment aux mems (Microelectromechanical Systems), il sera possible de concevoir des implants capables de réaliser des analyses pointues en continu, tels que le taux de glycémie d'un patient atteint de diabète, et même de télécommander des micro-injections, très précisément dosées, à l'instant où le patient en a réellement besoin.

Banc d'essai pages suivantes ▶

Comment l'appareil prend les mesures

Le tensiomètre détermine les valeurs de tension systolique et diastolique en gonflant puis en dégonflant progressivement un brassard, à l'instar de ce que pratique un médecin.



BETTY LAFON

LES TENSIOMÈTRES





MARQUE ET MODÈLE	iHealth / Track	Braun / VitalScan 3	Omron / RS3
Prix indicatif	**39,95 €**	**44,90 €**	**56,90€**
Type	Brassard	Poignet	Poignet
Tour de poignet ou de bras	De 22 à 42 cm	De 13 à 21 cm	De 13,5 à 21,5 cm
Mémorisation des mesures	Par l'application	90 mesures	60 mesures
Affichage sur l'appareil	Écran LCD	Écran LCD	Écran LCD
Application / compatibilité	iHealth MyVitals / iOS et Android	Non	Non
Liaisons vers l'application	Bluetooth 4.0	Non	Non
Alimentation	4 piles AAA (LR3)	2 piles AAA (LR3)	2 piles AAA (LR3)
Dimensions/poids	98 x 98 x 46 mm / 438 g	150 x 110 x 100 mm / 350 g	78 x 60 x 21 mm / 101 g
Les plus	Changement de couleur de l'écran en fonction des résultats, envoi possible des mesures à un professionnel de santé	Utilisation simple, mémorisation des mesures	Utilisation simple, mémorisation des mesures
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	Un prix très serré pour ce modèle connecté. Il s'intègre parfaitement au sein de l'« écosystème » iHealth pour un suivi précis de son état de santé. Un espace en ligne gratuit permet de stocker les données personnelles et, éventuellement, les envoyer à un professionnel de santé.	Le boîtier du VitalScan 3 rappelle les points essentiels à respecter lors de la mesure de tension. Autonome, il est bien adapté à un usage en déplacement ou en voyage.	Très léger, compact et autonome, il se glisse facilement dans une trousse de toilette. Un indicateur de bon serrage du bracelet évite les fausses mesures. L'appareil signale en outre les mouvements pouvant fausser la mesure.





MARQUE ET MODÈLE	iHealth / Sense	Terraillon / Tensio	Terraillon / TensioSmart
Prix indicatif	**79,95 €**	**80 €**	**120 €**
Type	Poignet	Poignet	Brassard
Tour de poignet ou de bras	De 13,5 à 22 cm	De 13,5 à 21,5 cm	De 22 à 32 cm
Mémorisation des mesures	Par l'application	60 mesures	60 mesures
Affichage sur l'appareil	Non	Écran LCD	Écran LCD
Application / compatibilité	iHealth MyVitals / iOS et Android	Wellness Coach / iOS et Android	Wellness Coach / iOS et Android
Liaisons vers l'application	Bluetooth 3.0 + EDR	Bluetooth Smart Technologie	Bluetooth
Alimentation	Batterie lithium-ion rechargeable par USB	Batterie lithium-ion rechargeable par USB	Batterie lithium-ion rechargeable par adaptateur secteur
Dimensions/poids	72 x 74 x 17,6 mm / 105 g	80 x 72,5 x 13,2 mm / 121 g	72 x 131 x 26 mm / 295 g
Les plus	Détection de la position du poignet pour une mesure précise, envoi possible des mesures à un professionnel de santé	Affichage très complet, utilisation simple, transmission automatique vers l'application	Affichage très complet, gestion de deux utilisateurs, transmission automatique vers l'application
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	Il est indispensable de recourir à l'application pour exploiter cet appareil. Simple à utiliser, il détecte automatiquement la position du poignet pour une mesure fiable. Alimentation par batterie rechargeable. Il s'intègre également à l'écosystème iHealth pour un suivi précis de son état de santé.	Le large écran du Tensio affiche l'intégralité des paramètres mesurés. Il se recharge directement depuis un port USB ou depuis un chargeur identique à celui d'un smartphone, ce qui limite la multiplication des adaptateurs secteur.	Une version brassard du modèle précédent. Si le TensioSmart est légèrement plus encombrant et lourd que son petit frère, sa configuration « brassard » limite les erreurs de manipulation et donc de mesure.

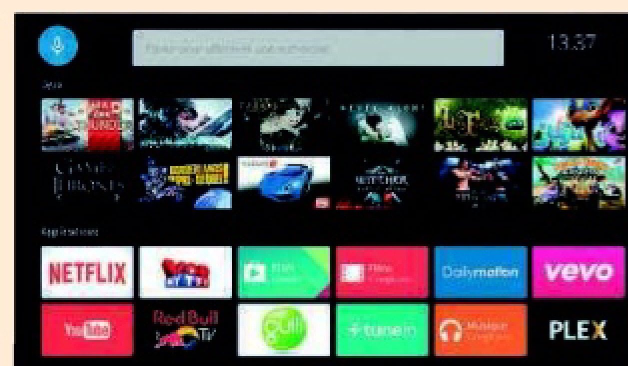
	
Beurer / BC57	**Braun** / Exactfit 5
59,99 €	**67,50 €**
Poignet	Brassard
De 14 à 19,5 cm	De 22 à 42 cm
2 x 60 mesures	99 mesures
Écran LCD	Écran LCD
Health Manager App / iOS et Android	Non
Bluetooth Smart Technologie	Non
2 piles AAA (LR3)	4 piles AA (LR6)
78 x 60 x 23 mm / 96 g	95 x 115 x 80 mm / 290 g
Moyenne de toutes les mesures réalisées matin et soir sur 7 jours, simplicité d'utilisation	Deux brassards fournis, affichage clair
L'application associée au BC57 présente une analyse très complète des évolutions des la tension de son utilisateur et met en garde dès l'apparition d'anomalies. L'appareil peut aussi s'utiliser de manière autonome.	L'Exactfit 5 peut gérer deux utilisateurs simultanément. Il est fourni avec deux brassards (de 22 à 32 cm, pour le premier et de 32 à 42 cm pour le second). Il distingue aussi les mesures réalisées le matin de celles du soir.
	
Withings / Tensiomètre	**Beurer** / BM95
129,95 €	**199,99 €**
Brassard	Brassard
De 22 à 42 cm	De 22 à 42 cm
Par l'application	2 x 60 mesures
Non	Écran LCD
Health Mate / iOS et Android	Health Manager App / iOS et Android
Bluetooth et Bluetooth basse énergie	Bluetooth Smart et USB
4 piles AAA (LR3)	4 piles AAA (LR3)
150 x 14 x 100 mm / 600 g	127 x 127 x 44 mm / 288 g
Simplicité d'utilisation, détection des tendances et des évolutions	Classification des mesures, détection arythmies, alerte fibrillation, ECG (électrocardiogramme)
Indissociable de l'application Health Mate, ce tensiomètre se pilote intégralement depuis le smartphone. Après avoir enfilé le brassard, il suffit de presser « Démarrer » sur l'écran du téléphone. L'affichage des résultats est rapide et ils sont automatiquement sauvegardés.	Un équipement très complet qui, outre la mesure de tension et de fréquence cardiaque, est capable de réaliser un électrocardiogramme grâce à une sonde fournie. Une alerte se déclenche en cas de fibrillation ou de perturbation du rythme cardiaque



TomTom Golfer2

Swing du poignet

Conçue par TomTom pour les golfeurs, la Golfer2 mémorise les caractéristiques de 40 000 parcours. Elle vous aidera à améliorer votre swing en visualisant d'un coup d'œil la topographie du green.
249 €



N-Vidia Shield

Console survitaminée

Avec la Shield, N-Vidia le spécialiste des cartes graphiques hautes performances, propose bien plus qu'une console de jeu. Véritable terminal multimédia, la Shield gère les flux vidéos 4K ultra-HD, accède à l'audio Hi-Res et, couplée à un disque dur USB, se transforme en jukebox multimédia. De plus, elle offre une connexion directe à Netflix.
199 €

Nintendo Classic Mini

Jeux vidéo vintage



Avec la Classic Mini, les nostalgiques de la console NES de Nintendo seront comblés. Elle reprend les grands classiques des jeux de la marque, tels que Super Mario Bros, Zelda ou Donkey Kong, en respectant leur graphisme vintage. **59,99 €**

LE CIEL D'OCTOBRE

Par Johan Kieken

Où sont les planètes ?



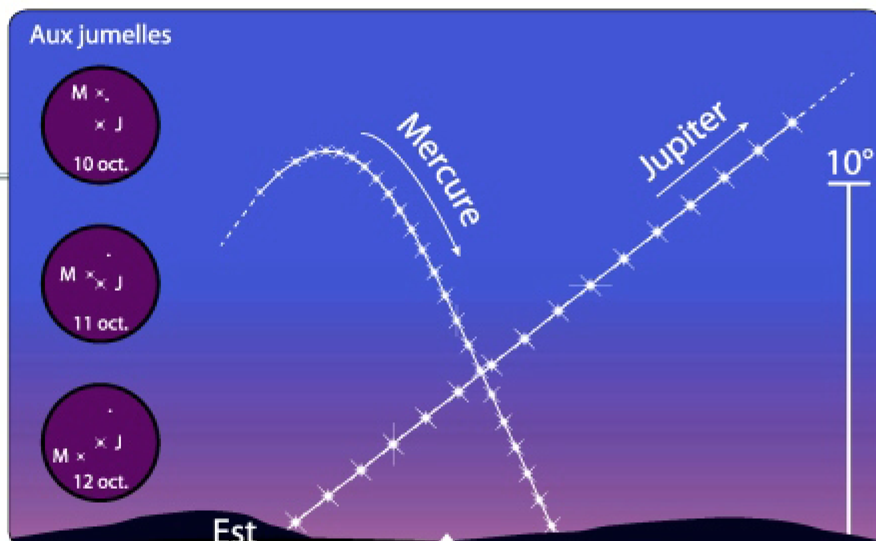
MERCURE La petite planète est assez facilement accessible durant la première quinzaine le matin, basse sur l'horizon est. L'augmentation quotidienne de son éclat est neutralisée par sa chute apparente vers le Soleil, avec lequel elle passera en conjonction supérieure le 27.



VÉNUS L'étoile du Berger est observable en soirée, basse dans la direction du couchant. Elle souffre toujours d'un écliptique bien peu incliné le soir… mais la situation va bientôt s'améliorer. Ainsi, elle se couche 1 h après le Soleil le 1er mais 1 h 40 après lui le 31.



MARS Tout ce mois, alors que la nuit tombe, c'est assez bas vers le sud qu'il faut chercher la planète Rouge. Située dans la constellation australe du Sagittaire, elle reste observable quelques heures avant de passer sous l'horizon sud-ouest.



Une demi-heure avant que le Soleil ne se lève, l'horizon est le témoin du déclin de Mercure et de la renaissance de Jupiter. Dans les cercles, « J » désigne Jupiter et « M » Mercure.

Si proches, si différentes

MERCURE, COMPOSÉE DE ROCHES, est la plus petite planète du système solaire et la plus proche du Soleil. Jupiter, une géante de gaz, est la plus grosse d'entre toutes et tourne loin du Soleil. Tout sépare donc Mercure de Jupiter… mais il arrive parfois que, vues depuis la Terre, elles semblent proches. Ainsi, en ce mois d'octobre, alors que Mercure plonge vers le Soleil levant et que Jupiter s'extirpe des lueurs de l'aurore, les deux planètes se croisent le 11 et seront alors à moins de 1° l'une de l'autre.

Notre conseil Votre horizon est doit impérativement être bien dégagé. Dans un ciel déjà bien lumineux, une paire de jumelles constituera une aide au repérage des deux planètes.

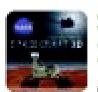


JUPITER Après être passée en conjonction avec le Soleil le 26 septembre dans la constellation de la Vierge, la plus grosse des planètes s'extrait rapidement des lumières de l'aurore en raison de l'inclinaison très élevée de l'écliptique le matin. Ainsi, bien qu'inobservable en début de mois, elle se lève 2 h 30 avant le Soleil le 31.

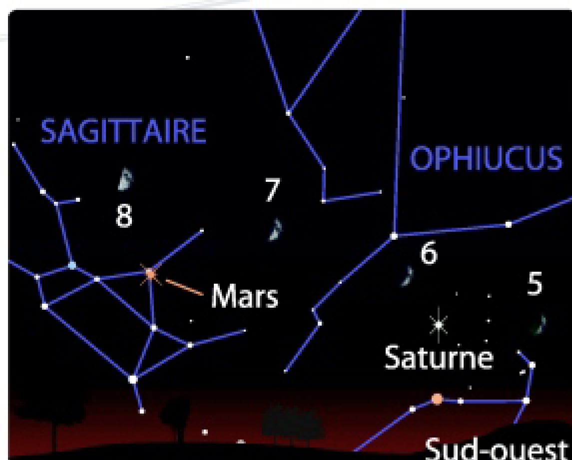


SATURNE La planète aux anneaux est encore visible en début de nuit, basse vers le sud-ouest. Elle se couche de plus en plus tôt et ne sera bientôt plus observable.

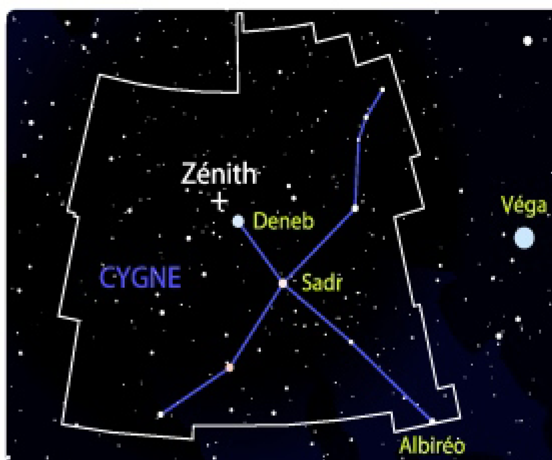
L'appli du mois



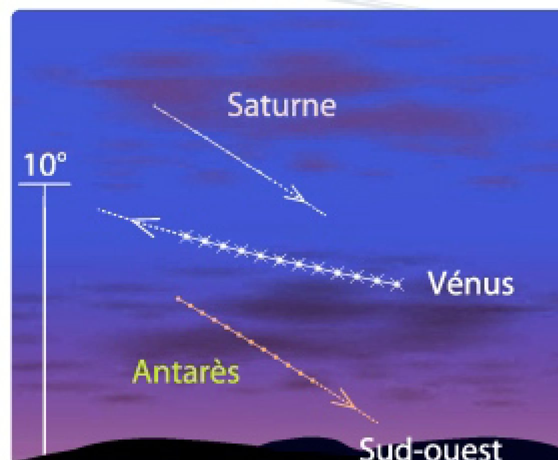
SPACECRAFT 3D est une application gratuite en anglais créée par le Jet Propulsion Laboratory et fonctionnant sous iOS et Android. Tirant parti de la réalité augmentée, elle permet d'interagir avec différentes sondes spatiales dans l'environnement de son choix, grâce à la caméra de son mobile.



DU 5 AU 8, LA LUNE EN PHASE CROISSANTE PASSE AU LARGE des planètes Saturne dans Ophiucus et Mars dans le Sagittaire. La scène est représentée une heure après le coucher du Soleil.



LE CYGNE EST UNE CONSTELLATION MAJESTUEUSE que l'on retrouve au zénith en début de nuit. Elle héberge une magnifique étoile double, Albiréo, à observer dans un petit télescope.



TANDIS QUE VÉNUS S'EXTIRPE DES LUEURS DU COUCHANT, Saturne et Antarès se noient dans le crépuscule. La scène est représentée ici du 20 au 31, 30 min après le coucher du Soleil.

Carte du ciel visible à la mi-octobre vers 21 h.

La Lune



Nouvelle Lune : samedi 1er à 2 h (La Lune se trouve alors dans la constellation de la Vierge) et dimanche 30 à 19 h (Balance)



Premier quartier : dimanche 9 à 7 h (Sagittaire)



Pleine Lune : dimanche 16 à 6 h (Poissons)



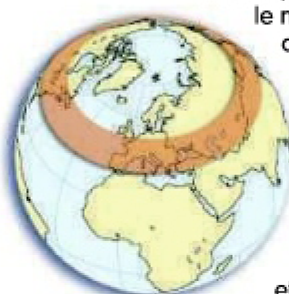
Dernier quartier : samedi 22 à 21 h (Cancer)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er octobre	7 h 51	19 h 29
31 octobre	7 h 36	17 h 31

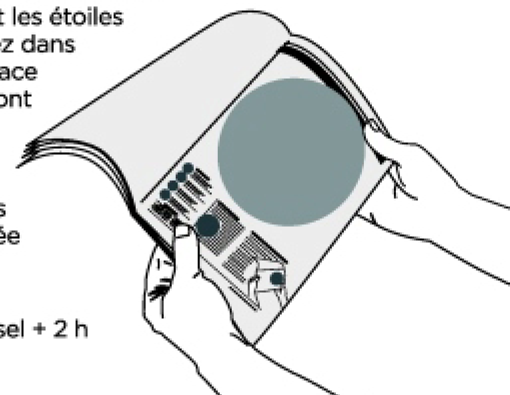
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h jusqu'au dimanche 30 à 3 h, + 1 h ensuite).

EXPOSITIONS

Auxerre (89)

Poissons
À la découverte du monde des poissons: leur classification, leurs capacités, leur étude et leur survie. Un parcours complété à l'extérieur par une présentation de la bioacoustique réalisée par l'IRD.
Muséum, 5, boulevard Vauban, jusqu'au 22 janvier 2017. Rens. : 03.86.72.96.40.

Lattes (34)

À l'école des scribes. Les écritures de l'Égypte ancienne
Les différentes écritures (hiéroglyphique, hiératique et démotique) de l'Égypte ancienne présentées au travers de 70 œuvres issues en majorité des collections du musée du Louvre.
Site archéologique Lattara-musée Henri Prades, 390, route de Pérols, jusqu'au 2 janvier 2017. Rens. : 04.67.99.77.20.

Paris (75)

Mutations urbaines. La ville est à nous !
Un panorama de l'urbanisation à travers le monde et un tour d'horizon des initiatives et des innovations citoyennes en matière de biodiversité, usages numériques, partage et déplacements.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin Cariou, jusqu'au 5 mars 2017. Rens. : 01.85.53.99.74.

Rennes (35)

Plumes de dinosaures!
Des fossiles du Musée paléontologique du Liaoning en Chine et des reconstitutions en 3D font découvrir, parmi les dinosaures, les tout premiers oiseaux aux ailes griffues, les premières fleurs, les premiers insectes pollinisateurs.
Espace des sciences, Les champs libres, salle Eurêka, jusqu'au 5 mars 2017. Rens. : 02.23.40.66.40.

Toulouse (31)

Chiens chats
L'exposition, conçue à la Cité des sciences et de l'industrie *(lire* Sciences et Avenir *n° 821, juillet 2015)*, est ici enrichie par des spécimens du muséum de Toulouse. Elle invite à se plonger dans la peau, dans la tête et dans la société des chiens et des chats.
Muséum, 35, allée Jules Guesde, du 4 octobre au 4 juin 2017. Rens. : 05.67.73.84.84.

Paris (75) / Exposition

Précieux vélins. Trois siècles d'illustration naturaliste

Bien beau, ce maître corbeau sur son arbre perché ! Un corbeau d'Inde, aurez-vous noté, dont les couleurs chatoyantes étonnent moins quand on lit, en bas à droite du dessin, qu'il s'appelle aussi ara, le nom sous lequel nous le connaissons aujourd'hui. Cet oiseau à l'indéniable prestance, le public pourra le découvrir, c'est une grande première, avec plus de 120 aquarelles ou gouaches peintes sur de la peau de veau mort-né (d'où le nom de vélins) que le Museum national d'histoire naturelle a choisi de présenter parmi les 7000 de sa prestigieuse collection, débutée en 1630 et jamais exposée. Majestueux ours blanc, homard bleu, rigolos polatouches (écureuils volants), inquiétante mandragore, colchique ou tulipe « veuve violette »… *« L'exposition changera tous les mois »*, rappelle Pascale Heurtel, commissaire de l'exposition, *« car les vélins sont très sensibles à la lumière »*. Pour les amoureux (au portefeuille garni) de ces dessins naturalistes, on recommandera l'ouvrage qu'elle a codirigé à cette occasion avec Michelle Lenoir (Citadelles & Mazenod, 830 illustrations couleur, photos de Tony Querrec, 430 €). *« Les Vélins du Muséum, c'est notre Saint-Graal »*, avoue Geneviève Rudolf, la directrice éditoriale. Et c'est notre plaisir, à nous visiteurs et lecteurs. ■ **Dominique Leglu**

Cabinet d'histoire du Jardin des plantes, 57, rue Cuvier, jusqu'au 2 janvier 2017. Rens. : 01.40.79.56.01.


MNHN, DIST. RMN/TONY QUERREC

◄ **Ce corbeau d'Inde ou ara** aux couleurs admirablement restituées illustre une des 120 aquarelles ou gouaches naturalistes présentées au Muséum.

CONFÉRENCES

Orléans (45)

La thérapie génique: réalité et futur
Par Patrick Midoux, directeur de recherche au Centre de biophysique moléculaire d'Orléans.
Centre international universitaire pour la recherche, hôtel Dupanloup, 1, rue Dupanloup, le 4 octobre à 20 h 30. Rens. : 02. 38. 77. 11. 06.

Paris (75) et Montbéliard (25)



Vaccins: pourquoi font-ils peur ?
Conférence du cycle « Santé en questions », avec la participation, entre autres, d'Annick Guimezanes, immunologiste, chercheuse émérite de l'Inserm, Alain Fischer, professeur au Collège de France et Philippe Georgel, virologue au laboratoire Inserm d'immuno-rhumatologie (*lire* S. et A. *n° 826*).
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, en duplex avec le Pavillon des sciences de Montbéliard, le 13 octobre 2016 à 19 h. Rens. : conferences@universcience.fr

Paris (75)

Programmes spatiaux, de la Guerre froide à nos jours
Par Isabelle Sourbès-Verger, géographe, chargée de recherche au CNRS, au centre Alexandre-Koyré.

Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin Cariou, le 4 octobre à 19 h. Rens. : 01.85.53.99.74.

Les merveilleux théorèmes de Monsieur Nash
Conférence du cycle Mathématiques joyeuses par le mathématicien Cédric Villani.
Maison des métallos, 94, rue Jean-Pierre Timbaud, le 10 octobre à 14 h. Rens. : 01.48.05.88.27.

Rennes (35)

Et si c'était une maladie rare?
Par Sylvie Odent, chef du service de génétique clinique, Andréa Manunta, praticien hospitalier en urologie et Édouard Bardou-Jacquet, praticien hospitalier pour surcharges en fer rares d'origine génétique au CHU de Rennes.
Les Champs Libres, salle Hubert-Curien, le 4 octobre à 20 h 30. Rens.: 02.23.40.66.00.

Toulouse (31)

Le nouveau vaisseau spatial européen et américain Orion
Par Jean-Luc Bonnaire, chef de projet du module de service de la capsule Orion chez Airbus Defence and Space.
Cité de l'espace, avenue Jean-Gonnord, le 5 octobre à 18 h 30. Rens. : 05.67.22.23.24.

ET AUSSI

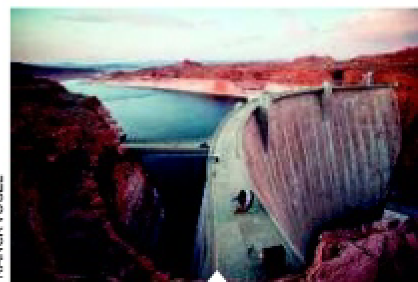
Paris (75)



Pariscience
L'association Science Télévision (AST) et Universcience, en partenariat avec *Sciences et Avenir*, s'associent pour promouvoir l'audiovisuel scientifique à travers deux événements: Pariscience, le festival international du film scientifique avec 90 œuvres (au Muséum et à l'Institut de physique du globe du 6 au 11 octobre) et Sciences en vue, festival de « pépites audiovisuelles et multimédias sur les sciences » (à la Cité des sciences les 8 et 9 octobre). Pariscience proposera un concours de réalisation en 48 h. Olivier Lascar, rédacteur en chef de sciencesetavenir.fr sera membre du jury.
Rens. : www.pariscience.fr

Paris (75)/ Exposition

Le Colorado, le fleuve qui n'atteint plus la mer


FRANCK VOGEL

Le barrage de Glen Canyon, sur le Colorado, près de Page (Arizona).

Il s'étire comme un grand roman américain sur sept États depuis les montagnes Rocheuses où il prend sa source, au travers des paysages lunaires et fantastiques des déserts du Sud-Ouest, avant d'entrer au Mexique. Et puis... plus rien. À la frontière, le Colorado passe le barrage de Morelos, le dernier sur son cours de 2330 km, et ses eaux se muent en un ruisseau de trois mètres de large, qui n'est même plus capable d'atteindre la mer de Cortés. C'est de cette situation que rendent compte les photographies de Franck Vogel, avec une idée maîtresse évidente: pointer du doigt (ou plutôt de l'objectif) *« l'exemple même d'une mauvaise gestion de la ressource »* dans un contexte de sécheresse persistance, de fonte accélérée des glaciers et des neiges et de bouleversements climatiques. ■ **Arnaud Devillard**

Pavillon de l'eau, 77, avenue de Versailles, jusqu'au 30 décembre. Rens. : 01.42.24.54.02.

www.sciencesetavenir.fr
Sciences et Avenir au quotidien

ARCHÉOLOGIE

Expédition Franklin : on a retrouvé le *Terror*

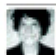

Bernadette Arnaud, grand reporter
@NarudaaArnaud barnaud@sciencesetavenir.fr

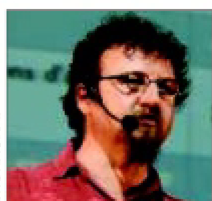

LEEMAGE

L'épave du second navire de la mythique expédition britannique disparue en 1848 vient d'être découverte dans l'Arctique, mettant fin à une des plus grandes énigmes et tragédies maritimes du XIXe siècle. sciav.fr/836terror

ASTRONOMIE

L'*Univers jungle* pour décrire le cosmos


Azar Khalatbari, chef de rubrique
@azarkhalatbari akhalatbari@sciencesetavenir.fr


L. HONNORAT

Lors du 26e festival d'astronomie de Fleurance (Gers), le mathématicien et cosmologiste Jérôme Perez a présenté une cosmologie inspirée des modèles de compétition entre espèces animales. sciav.fr/836jungle

SCIENCES AVENIR
sciav.fr/836jungle

Nos liens Internet simplifiés. sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur Internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, dans le texte ci-dessus, le lien sciav.fr/836jungle renvoie directement à la page du site de *Sciences et Avenir* ou vous pourrez lire cet article.


SHUTTERSTOCK

ANIMAUX

Pourquoi il ne faut pas donner de chocolat à son chien


Olivier Lascar, rédacteur en chef pôle digital
@olascar olascar@sciencesetavenir.fr

Délicieux le chocolat ? Pas pour nos compagnons à quatre pattes. Car le cacao contient une molécule appelée théobromine que le foie du chien et, dans une moindre mesure, celui du chat, ne parvient pas à « *détoxifier* ». Ces explications sont données sur le site de *Sciences et Avenir* par trois vétérinaires qui ont accueilli notre caméra dans leur clinique. Pour nos internautes, c'est l'occasion — rare — de découvrir à quoi ressemble une brosse à dents pour toutous... sciav.fr/836véto

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

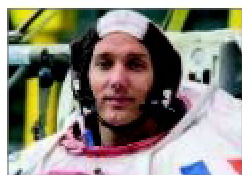
Santé. **Stérilet *versus* pilule du lendemain**


BSIP

Le stérilet serait plus efficace que la pilule du lendemain après un rapport sexuel non protégé, selon une étude britannique. sciav.fr/836contra

8 minutes

Espace. **Thomas Pesquet : ma future vie sur l'ISS**


SIPA

Dans deux mois, le spationaute français décollera depuis Baïkonour pour rejoindre la Station spatiale internationale. sciav.fr/836pesquet

15 minutes

High-tech. **Nous avons testé le casque Hololens**


SCIENCES ET AVENIR

Sciences et Avenir a pu tester l'Hololens, le casque de réalité augmentée de Microsoft, dans les locaux du studio Asobo. Impressions. sciav.fr/836holo

Le Top 5 du mois

Les + lus sur Internet

Incroyable naissance d'un bébé dans son sac amniotique. sciav.fr/836sac

6 règles d'or pour que votre cerveau continue à fabriquer des neurones. sciav.fr/836neur

Science et télé : piratage mode d'emploi dans le monde dérangé de *Mr. Robot*. sciav.fr/836robot

Les + partagés

Revivez l'éclipse annulaire de Soleil. sciav.fr/836soleil

Les + likés

Aliment tombé par terre : la « *règle des 5 secondes* » est-elle valable ? sciav.fr/836sec


Vous êtes déjà plus de 1,6 million à nous suivre sur Facebook


ANNO
1074